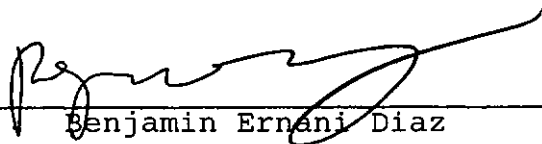


TENSÕES LOCAIS EM VIGAS DE ROLAMENTO
DE INSTALAÇÕES SIDERÚRGICAS

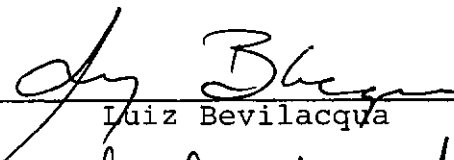
Álvaro Façanha de Almeida Motta

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS PROGRAMAS DE
PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JA
NEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO
GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS (M.Sc.)

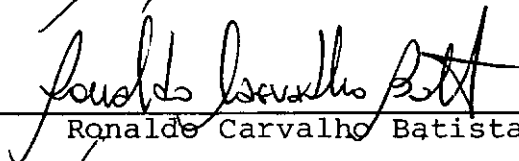
Aprovada por:



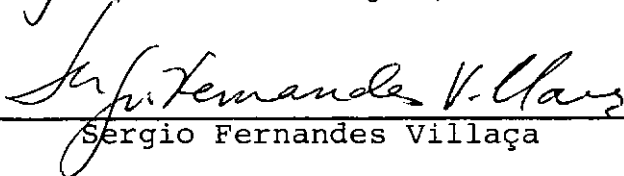
Benjamin Ernani Díaz



Luiz Bevilacqua



Ronaldo Carvalho Batista



Sergio Fernandes Villaza

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

AGOSTO DE 1981

Aos meus pais

À minha esposa

Aos meus filhos

AGRADECIMENTOS

Ao professor Benjamin Ernani Diaz, pelo interesse e pela orientação prestada a este trabalho.

À COBRAPI, nas pessoas do presidente, Eng. Ubirajara Quaranta Cabral, e do gerente da Divisão de Estruturas Metálicas, Eng. Máximo Ricardo Preu pelas facilidades proporcionadas.

Ao Corpo Docente da COPPE, pelos ensinamentos recebidos.

À Cleide Sarmento Lameira, pela confecção gráfica deste trabalho.

MOTTA, ALVARO FAÇANHA DE ALMEIDA

Tensões Locais em Vigas de Rolamento de Instalações Si
derúrgicas (Rio de Janeiro) 1981.

IX, p. 29,7cm (COPPE-UFRJ, M.Sc., Engenharia Ci-
vil, 1976)

Tese - Universidade Federal do Rio de Janeiro. Faculda
de de Engenharia.

1. Tensões Locais. Estrutura Metálica. Vigas de Rola
mento. I. COPPE/UFRJ II. Título (Série)

SINOPSE

O presente trabalho trata das tensões locais em vigas de rolamento de instalações siderúrgicas. Nele é feita uma análise dos detalhes construtivos que podem implicar na formação de fissuras de fadiga resultante dos efeitos locais na parte superior da viga de rolamento. Finalmente, apresenta-se um programa para computador digital baseado na teoria das estruturas prismáticas laminares que possibilitam a determinação precisa das solicições locais, sem as limitações existentes dos métodos anteriormente propostos.

SUMMARY

This work deals with the determination of local stress in steel crane runway girders of mill instalations. Herein an state of the art is presented about the execution details which can cause fadigue cracks due to the local effects in the upper part of the crane runway girders. A computer program is also presented which is based on the theory of folded plates. This procedure allows the determination of the local stresses accurately without the limitations of the previously presented methods.

Í N D I C E

	<u>Pág.</u>
I. INTRODUÇÃO	1
II. CONSIDERAÇÕES SOBRE O PROBLEMA DAS TENSÕES LOCAIS EM VIGAS DE ROLAMENTO	3
2.1 - Introdução	3
2.2 - Cargas atuantes nos trilhos	9
2.2.1 - Pontes rolantes - classificação ...	9
2.2.2 - Determinação das reações das rodas.	21
2.2.2.1 - Notações empregadas	22
2.2.2.2 - Reações verticais	24
2.2.2.3 - Reações horizontais longi- tudinais	25
2.2.2.4 - Reações horizontais trans- versais	26
2.2.2.5 - Ponto de aplicação das Rea- ções das rodas	35
2.3 - Determinação das tensões nas vigas de rola- mento.....	37
2.3.1 - Efeitos globais	38
2.3.1.1 - Determinação dos efeitos globais para o quadeo des- locável	40
2.3.1.2 - Determinação dos efeitos globais para o quadro rígido	41
2.3.2 - Efeitos locais	43
2.4 - Disposições construtivas	44
2.4.1 - Trilhos, bases e fixações	44
2.4.1.1 - Trilhos	44
2.4.1.2 - Sistemas de fixação	45
2.4.1.3 - Bases de trilhos	50
2.4.1.4 - Tolerâncias de montagem ..	52

2.4.2 - Viga vertical principal ou viga de ro lamento	56
2.4.2.1 - Enrijecedores principais ..	58
2.4.2.2 - Enrijecedores parciais e longitudinais	61
2.4.3 - Viga horizontal superior	63
2.4.3.1 - Viga horizontal em alma cheia	65
2.4.3.3 - Viga horizontal em treliça.	66
2.4.4 - Viga vertical auxiliar	67
2.4.5 - Viga horizontal inferior	67
2.4.6 - Diafragmas transversais	68
III. REVISÃO DA LITERATURA SOBRE O TEMA	69
3.1 - Efeito produzido pela reação vertical da roda centrada sobre o sistema trilho-mesa superior	70
2.3 - Efeito produzido pelo momento torsor local ..	72
IV. PROPOSIÇÃO DE DETERMINAÇÃO DAS TENSÕES LOCAIS PELA TEORIA DAS ESTRUTURAS PRISMÁTICAS LAMINARES	76
V. CONCEITUAÇÃO GERAL DAS ESTRUTURAS PRISMÁTICAS LAMI- NARES	78
VI. FUNDAMENTOS TEÓRICOS DO MÉTODO PROPOSTO	80
6.1 - Introdução	80
6.2 - Sistema de Coordenadas	83
6.3 - Transformação do sistema de coordenadas	86
6.4 - Análise harmônica de ações e deslocamentos ..	89
6.5 - Matriz de rigidez do elemento	93
6.6 - Matriz de rigidez do elemento referida ao sis tema global	96

6.7 - Vetores associados as cargas	99
6.7.1 - Ações externas aplicadas diretamente nas juntas	99
6.7.2 - Ações de fixação dos elementos carregados	100
6.7.3 - Ações equivalentes nas juntas	105
6.7.4 - Ações combinadas nas juntas	106
6.8 - Matriz de rigidez global da estrutura	107
6.9 - Determinação dos deslocamentos incógnitos e reações de apoio	110
6.10- Ações e deslocamentos na extremidade do elemento	112
6.11- Determinação dos esforços no interior do elemento	113
6.11.1 - Comportamento de chapa	115
6.11.3 - Comportamento de placa	120

VII. DESCRIÇÃO DO PROGRAMA	126
7.1 - Programa STRAPL	126
7.1.1 - Programa principal	127
7.1.2 - Subrotina GEDAT	129
7.1.3 - Subrotina RIGEL	130
7.1.4 - Subrotina RIGST	130
7.1.5 - Subrotina TRIGS	131
7.1.6 - Subrotina NUCAR	131
7.1.7 - Subrotina DACAR	131
7.1.8 - Subrotina LEICA	132
7.1.9 - Subrotina REDES	133
7.1.10- Subrotina ESBOR	133
7.1.11- Subrotina RESFI	134
7.1.12- Subrotinas de apoio	134

	<u>Pág.</u>
7.2 - Programa PLACA	135
7.3 - Programa CHAPA	135
VIII. TESTES E APLICAÇÕES PRÁTICAS	136
IX. CONTRIBUIÇÕES DO ESTUDO DE TENSÕES LOCAIS COM O AU- XÍLIO DA TEORIA DE ESTRUTURAS PRISMÁTICAS LAMINARES	150
X. CONCLUSÕES	152
NOTAÇÕES	153
BIBLIOGRAFIA	156
APÊNDICE A - MANUAL DE UTILIZAÇÃO	165
APÊNDICE B - LISTAGENS DOS PROGRAMAS	185

I - INTRODUÇÃO

As pontes rolantes e suas vigas de rolamento são componentes essenciais das várias operações das usinas siderúrgicas. Cada ponte e suas vigas de rolamento formam um sistema estrutural-mecânico de manuseio de material, onde qualquer paralisação de uma ponte de produção, seja para reparo ou manutenção da mesma ou da viga de rolamento, irá repercutir diretamente sobre os custos do produto final.

As tensões locais nas vigas de rolamento têm merecido nos últimos anos uma atenção especial por parte de pesquisadores, projetistas e produtores de aço pela presença de falhas estruturais - fissuras de fadiga na vizinhança da junção da mesa superior com a alma - constatadas após um período relativamente curto de serviço (3 a 4 anos), acarretando problemas de manutenção de custos consideráveis.

As condições de serviço e o regime de trabalho intenso característicos das pontes rolantes de operação das instalações siderúrgicas tornam a fadiga uma das maiores condicionantes do projeto de vigas de rolamento. Para cada ciclo de carga na mesa tracionada devido a passagem da ponte, existem 2, 4 ou 8 ciclos de tensão local na mesa superior e próximo da mesma, resultantes da passagem de cada roda do truque.

Os procedimentos de cálculo normalmente adotados pelos projetistas estão fundamentados na teoria elementar de vigas pa-

ra determinação das tensões produzidas pelas solicitações de flexão e de torção (tensões globais). Porém, estes deixam de ter validade na vizinhança dos pontos de aplicação das cargas, impossibilitando, desta forma, a determinação das tensões locais via tratamento simplificado.

Para suprir esta deficiência, as normas estabeleceram alguns critérios particulares para avaliação das tensões locais em certos tipos específicos de seções transversais, partindo-se do pressuposto de que as ações verticais acham-se centradas em relação a alma da viga. Mesmo dentro desta premissa não existe um consenso geral entre as diversas normas e recomendações relativas a este tópico.

Ensaio posteriores revelaram a necessidade de se levar em conta, na determinação das tensões locais, os efeitos da excentricidade das ações verticais e horizontais exercidas pela ponte sobre o trilho. Como decorrência, houve uma grande proliferação de métodos específicos, restritos a certos tipos de seções transversais que inviabilizaram uma regulamentação em norma de um procedimento simples e geral para a sua avaliação.

O principal motivo que originou a apresentação deste trabalho foi a elaboração de um programa, com base na teoria de estruturas prismáticas multi-laminares, que fosse suficientemente geral, preciso e de fácil acesso por parte dos projetistas envolvidos com este tipo de estrutura.

II - CONSIDERAÇÕES SOBRE O PROBLEMA DAS TENSÕES LOCAIS NAS VIGAS DE ROLAMENTO

2.1 - INTRODUÇÃO

Com a 2a. Guerra Mundial, uma grande parcela das cidades e instalações industriais em diferentes países da Europa foram destruídas. Logo após o término do conflito, desenvolveu-se uma atividade de reconstrução sem precedentes na História, acelerando-se o desenvolvimento dos parques siderúrgicos.

Para atender a esta necessidade, intensificou-se o emprego de soldas como meio de ligação nas construções metálicas em geral. Em contrapartida, não se dispunha de dados suficientes quanto a importância de certos aspectos críticos das juntas soldadas com relação às solicitações repetidas. Em consequência, as instalações siderúrgicas vieram a sofrer pesadas penalidades em termos de atrasos e queda de produtividade resultantes de paradas para manutenção de unidades vitais de produção.

Ainda nesta fase, começaram a se projetar pontes rolantes de maior versatilidade com grandes capacidades de levantamento para as novas concepções de edifícios siderúrgicos.

Face a estas evoluções, a manutenção das vias de rolamento passaram a se tornar mais freqüentes pelo desgaste prematuro e excessivo dos trilhos e rodeiros de ponte rolante e, por fim, desencadearam-se diversas formações de fissuras na parte su

perior das vigas de rolamento.

Convém ressaltar que estas fissuras de fadiga constatadas não estavam restritas a determinados vãos de viga ou processo de fabricação e nem a certos países. Elas se manifestaram primeiro na Europa pelo seu pioneirismo na utilização intensa da solda como elemento de ligação e, posteriormente nos Estados Unidos, pelo seu emprego mais recente.

Diante desse quadro desalentador, iniciaram-se os trabalhos de pesquisa atacando-se o problema em suas diversas frentes correspondentes às fases de projeto, fabricação, montagem e manutenção de pontes rolantes e vias de rolamento.

Para as pontes rolantes projetaram-se novos tipos de guiamento lateral, como o emprego de rodas flangeadas de pista cônica ou o guiamento em separado por meio de rolos guias (Fig. 1 e 2) e foram feitas modificações nos sistemas de acionamento das rodas motoras (Fig. 3). Ainda com relação a estes aparelhos de levantamento, praticaram-se diversas pesquisas em instalações experimentais com vista à revisão nos projetos de pontes rolantes, mais especificamente quanto às cargas atuantes nestas e suas reações nas estruturas de suporte.

Quanto à viga de rolamento, constatou-se a correlação entre as elevadas tensões locais agravadas pela presença de reações excêntricas das rodas da ponte e o aparecimento de fissuras de fadiga. Novamente, como decorrência destes estragos, estabe-

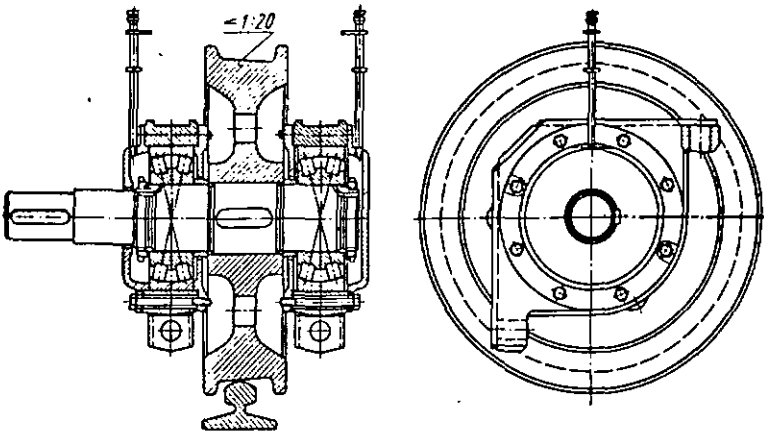


Fig. 1 - Rodas flangeadas de pista cônica

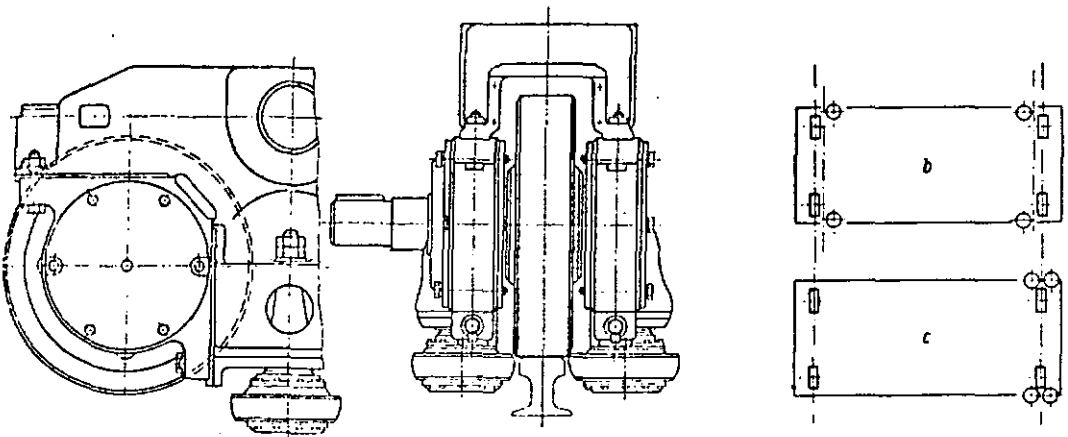


Fig. 2 - Rolos guias: a) em ambas as vias
b) numa só via

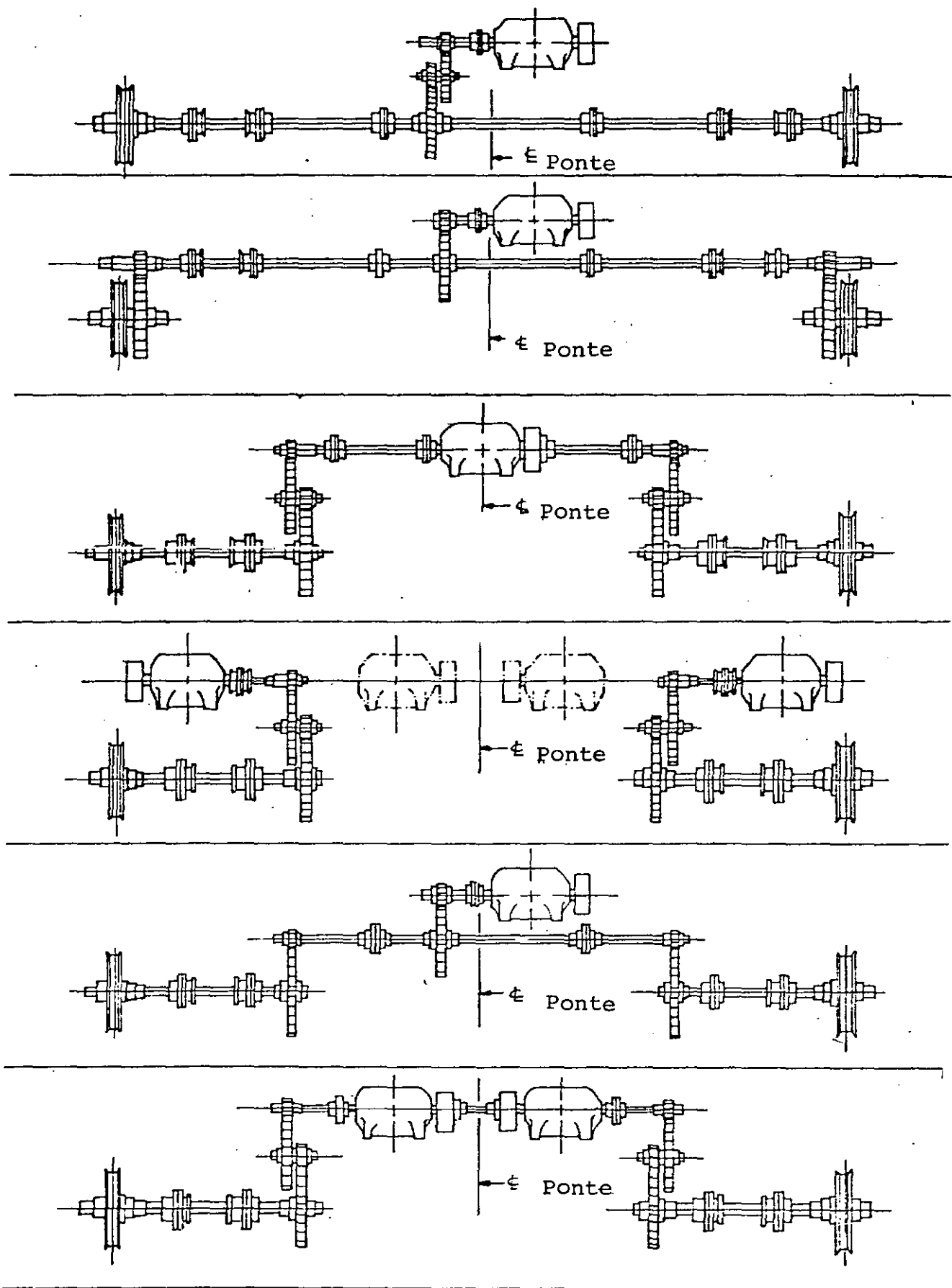


Fig.3 - Sistemas de Acionamento

leceram-se revisões nos métodos de cálculo e definiram-se procedimentos criteriosos de fabricação, e, por outro lado, elaboraram-se técnicas eficazes de reparo das vigas existentes. Finalmente, foram feitas atualizações nas normas para projeto e fabricação de vigas de rolamento que datavam da década de 30 e, pela primeira vez, passaram a constar no seu escopo critérios de verificação a fadiga.

Quanto aos sistemas de fixação e bases de trilhos, vem se buscando aperfeiçoar cada vez mais um sistema que desempenhe, com menor custo de manutenção, a função de guiamento para translação da ponte e, que ao mesmo tempo, atenua as tensões locais na parte superior da viga de rolamento.

Após esta rápida retrospectiva, onde se pretendeu dar uma visão panorâmica mostrando a interligação dos diversos elementos em jogo, iremos tratar com maiores detalhes nos itens subsequentes deste capítulo os aspectos diretamente relacionados ao projeto de vigas de rolamento frente as solicitações locais.

O item 2.2 trata da determinação das cargas atuantes nos trilhos onde se mostra a natureza polêmica do tema de nosso trabalho na sua origem confrontando-se duas normas consagradas em nosso meio, uma de procedência americana e a outra, européia. Para facilidade de exposição de um assunto árido para os que não militam com este tipo de problema, forçosamente somos obrigados a nos reportar à classificação das pontes segundo as citadas normas e dá-se uma introdução sucinta sobre a descrição de uma

ponte rolante e seus componentes.

No item 2.3, faz-se uma distinção entre as tensões locais e globais, e sua caracterização quanto a fadiga. Aborda-se, também, os tipos de seções transversais usuais em vias de rolamento para instalações siderúrgicas e tecem-se considerações sobre a determinação dos efeitos globais nas mesmas. E, finalmente, uma descrição dos tipos de tensões locais despertadas na parte superior da viga de rolamento pela passagem da roda de translação da ponte.

O item 2.4 trata das disposições construtivas empregadas em vias de rolamento. Apresenta-se uma descrição dos tipos de trilhos, bases e fixações e faz-se uma discussão sobre a influência dos mesmos nas tensões locais. Dando prosseguimento, a analisa-se cada um dos componentes estruturais da via de rolamento com relação à incidência de tensões locais e a formação de fissuras de fadiga. Omite-se nesta fase uma dissertação quanto aos problemas de fabricação que são catalisadores na formação de fissuras por estarem relacionados à metalurgia da soldagem e forge, portanto, ao âmbito do nosso trabalho.

2.2 - CARGAS ATUANTES NOS TRILHOS

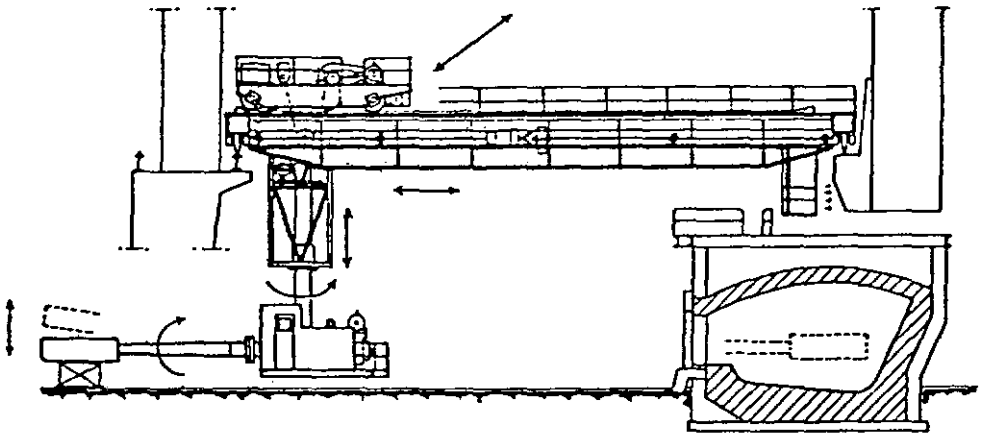
2.2.1 - Pontes Rolantes - Classificação

As pontes rolantes são as máquinas de levantamento de maior aplicação na indústria, que participam no processo de produção e as suas aplicações são as mais diversas possíveis, desde operações simples de levar peças e volumes de um local para outro até as mais complexas e de grande responsabilidade.

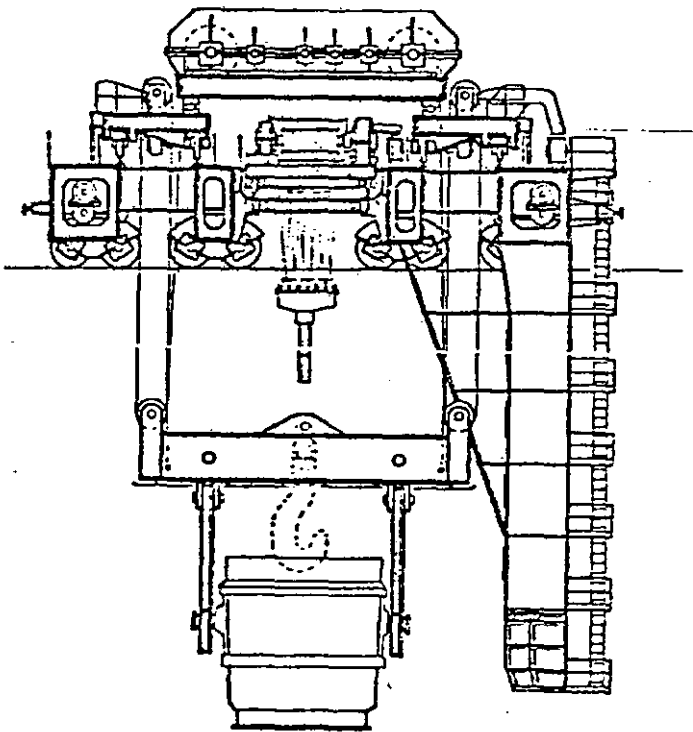
A condição de operação de uma ponte depende da espécie e do peso das cargas a serem transferidas, das coordenadas dos pontos de coleta e descarga, da intensidade do fluxo das cargas, da localização da ponte rolante e dos efeitos ambientais.

O peso da carga isolada determina a capacidade de levantamento e a aplicação da ponte fixa o tipo e o peso de seus aparelhos de levantamento. A possibilidade de utilização de acessórios diferentes (ganchos, âncoras, caçambas, garras ou pinças) amplia o campo de aplicação do equipamento, que vai desde o transporte de peças, tubos e barras, passando por cargas a granel, sucatas, até lingotes quentes, painéis de aço líquido e carregamento de fornos (Fig.4).

As coordenadas dos pontos de coleta e descarga, assim como, de certa forma, as dimensões das cargas, determinam as dimensões principais da ponte (a altura de levantamento e o vão). As coordenadas e suas tolerâncias condicionam a precisão com que



(a)



(b)

Fig.4 - Pontes siderúrgicas

(a) carregamento de fornos

(b) pontes de painéis de aço líquido

as cargas são transferidas.

O fluxo de cargas, imposto pelo processo de produção, estabelece o desempenho necessário (velocidade e acelerações da ponte, carro e guincho).

As condições de locação dadas pelas dimensões globais do equipamento de produção a ser servido pela ponte, o local disponível e as coordenadas dos pontos de coleta e descarga determinam o tipo de ponte.

As pontes poderão ter características especiais quando trabalharem ao ar livre, junto de fontes de calor ou em meio agressivo.

Os componentes básicos de uma ponte rolante estão mostrados na Fig.5. Qualquer ponte rolante consiste de três unidades básicas: a ponte, o carro e o mecanismo de elevação ou guincho. A ponte é composta de traves, truques, cabeceiras (ligação entre traves), passadiços e mecanismo de translação e sobre esta unidade opera o carro. O carro desloca-se ao longo dos trilhos fixados nas traves e carrega o guincho e o mecanismo de translação do carro. O guincho é um dispositivo que exerce força para levantamento ou descida de uma carga.

Classificação das pontes rolantes

Nos últimos anos, chegou-se à conclusão da necessidade de se criar normas específicas tanto para aparelhos de levanta-

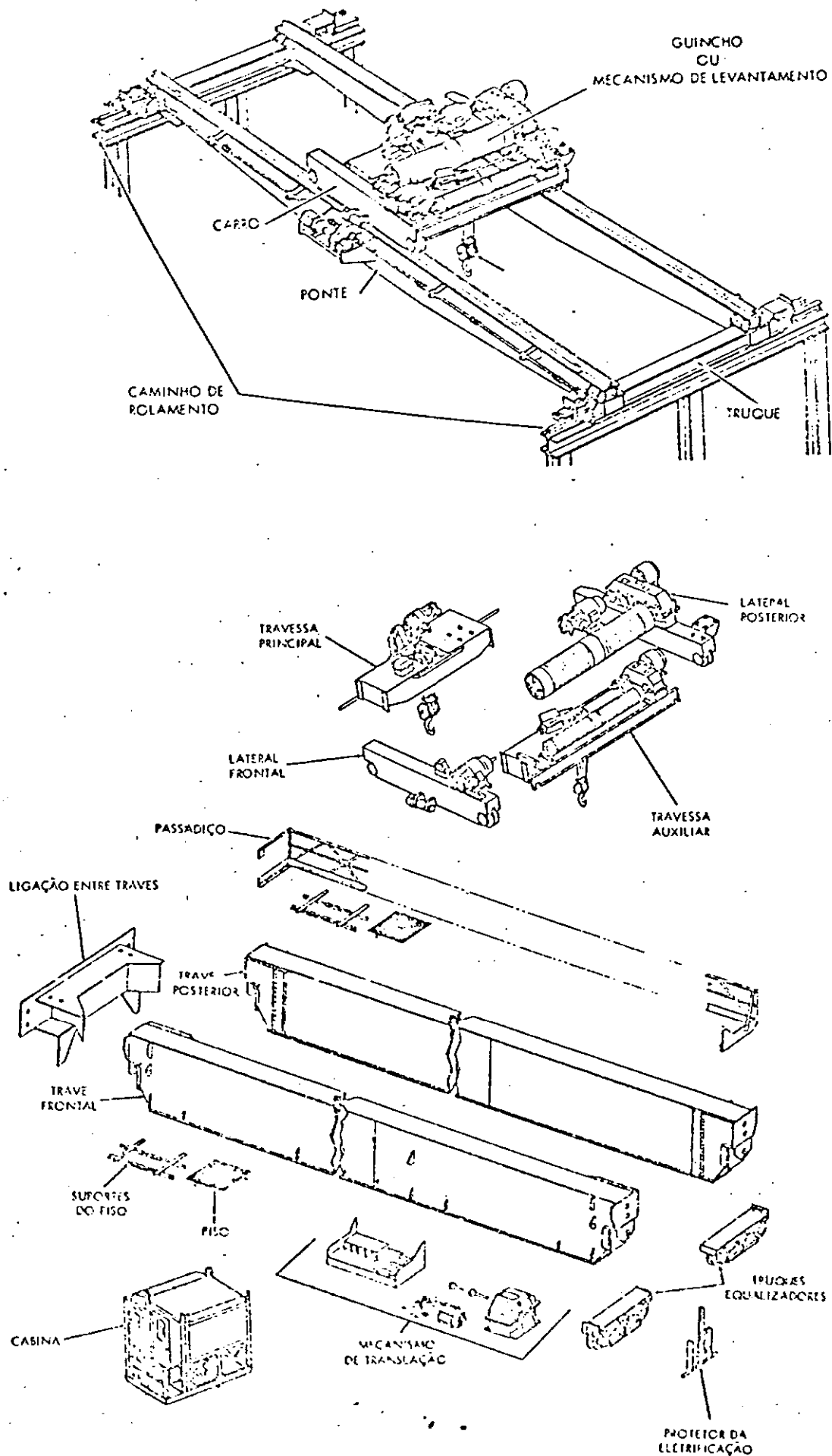


Figura 5
Componentes básicos de uma ponte rolante

mento como para as vias de rolamento, ao invés da prática anterior de se englobar as duas.

Pela falta de uma especificação brasileira quanto as vias de rolamento, embora haja uma relativa a aparelhos de levantamento (NB-283)¹ desenvolvida com base na norma FEM²⁷⁽¹⁾, menciona²⁶ remos no decorrer deste item como norma européia a especificação espanhola por utilizar integralmente a classificação FEM a fim de harmonizar com a brasileira existente.

Os aparelhos de levantamento são grupados em classes segundo o serviço ao qual se destinam. Estas classes são determinadas com base nas condições de utilização e nos regimes de carga, de acordo com a norma européia ou então, segundo as normas americanas, fazendo-se uma comparação com um quadro indicativo da CMAA¹⁶⁽²⁾ para certos tipos de aplicações e no caso específico de pontes siderúrgicas, recai-se sempre na Classe F conforme imposição da AISE⁵⁽³⁾. Nestas, dá-se ênfase aos aspectos de segurança, robustez, fator de segurança elevado, durabilidade das partes sujeitas a desgaste, acessibilidade e a utilização de altas velocidades.

a) Classificação européia

Nesta, as classes são determinadas com base nas condições de utilização e nos regimes de carga.

A condição de utilização caracteriza a frequência de u

(1) FEM - Federation Europeenne de la Manutention.

(2) CMAA - Crane Manufacturers Association of America.

(3) AISE - Association of Iron and Steel Engineers.

utilização da ponte rolante em seu conjunto durante o serviço. Este critério geralmente é representado por um número de ciclos de manobras que a ponte deverá efetuar durante a sua existência. Considera-se que um ciclo de levantamento é iniciado quando se levanta a carga e termina no momento em que a ponte está novamente em condições de reiniciar o levantamento seguinte. Este número convencional de ciclos de levantamento serve para determinação do número de ciclos de variações de tensões de um elemento quando da verificação a fadiga.

Segundo este critério, as condições de utilização são divididas em quatro classes definidas na Tab. 1.

Segundo a condição de emprego durante um turno de serviço, define-se por serviço interminente, quando os tempos de funcionamento são intercalados por numerosos períodos de parada; por serviço intensivo, utilização contínua com períodos de parada muito curtos e por serviço intensivo e severo, quando a condição de emprego é maior que a anterior, por exemplo, o funcionamento que empregue o aparelho mais de 8 horas por dia.

O regime de cargas é caracterizado por um espectro convencional de cargas, especificado por um parâmetro p que exprime a fração da carga máxima que é atingida ou excedida em todos os ciclos de cargas previstos.

Consideram-se os quatro regimes de cargas relacionados na Tab. 2.

TABELA 1

Classe de utilização

classe de utilização	Frequência de utilização do movimento de levantamento	Número convencional de ciclos de levantamento
A	Utilização ocasional não regular seguida de longos períodos de repouso	$6,3 \cdot 10^4$
B	Utilização regular em serviço intermitente	$2 \cdot 10^5$
C	Utilização regular em serviço intensivo	$6,3 \cdot 10^5$
D	Utilização em serviço intensivo severo efetuado por exemplo em mais de um turno	$2 \cdot 10^6$

TABELA 2

Regime de carga

Estado de carga	Definição	Diagrama correspondente Fig. 6
0 (muito leve)	Aparelhos levantando "excepcionalmente" a carga nominal e comumente cargas muito reduzidas	$p = 0$
1 (leve)	aparelhos que raramente levantam a carga nominal e comumente cargas da ordem de $1/3$ da carga nominal	$p = 1/3$
2 (médio)	Aparelhos que frequentemente levantam a carga nominal e comumente cargas compreendidas entre $1/3$ e $2/3$ da carga nominal	$p = 2/3$
3 (pesado)	Aparelhos regularmente carregados com a carga nominal	$p = 1$

Os regimes de cargas definidos na Tab. 2 correspondem aos espectros convencionais de carga representados na Fig.6, nos quais tem-se no eixo das abcissas em escala logarítmica o número de ciclos de levantamento e no eixo das ordenadas a fração da carga máxima efetivamente levantada.

A partir das classes de utilização e dos regimes de cargas levantadas classificam-se os seus elementos em seis grupos conforme a Tab.3. A título indicativo para facilitar a determinação do grupo pode-se recorrer a Tab.4.

TABELA 3

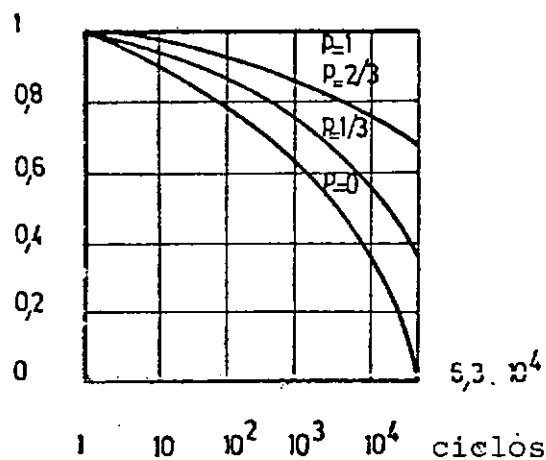
Classificação dos aparelhos, ou elementos do aparelho em grupos

Estado de cargas ou estado de tensões para um elemento	Classe de utilização e número convencional de ciclos de levantamento ou de tensões para um elemento			
	A $6,3 \cdot 10^4$	B $2 \cdot 10^5$	C $6,3 \cdot 10^5$	D $2 \cdot 10^6$
0 (muito leve) $p = 0$	1	2	3	4
1 (leve) $p = 1/3$	2	3	4	5
2 (médio) $p = 2/3$	3	4	5	6
3 (pesado) $p = 1$	4	5	6	6

Classe de utilização A

$6,3 \cdot 10^4$ ciclos

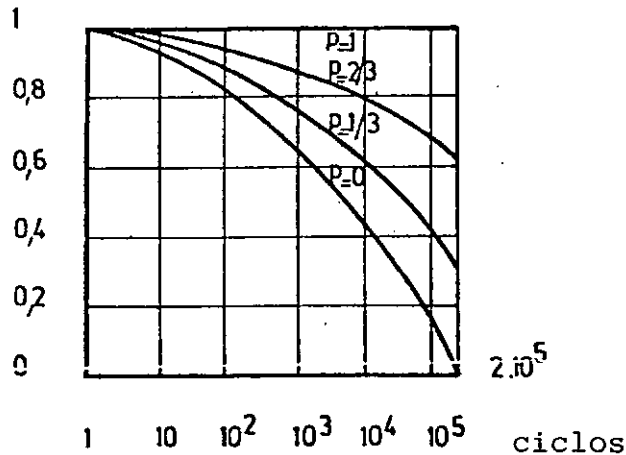
L/L_{max}



Classe de utilização B

$2 \cdot 10^5$ ciclos

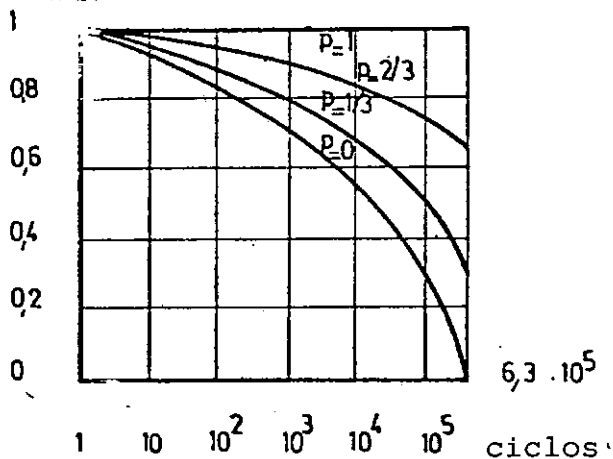
L/L_{max}



Classe de utilização C

$6,3 \cdot 10^5$ ciclos

L/L_{max}



Classe de utilização D

$2 \cdot 10^6$ ciclos

L/L_{max}

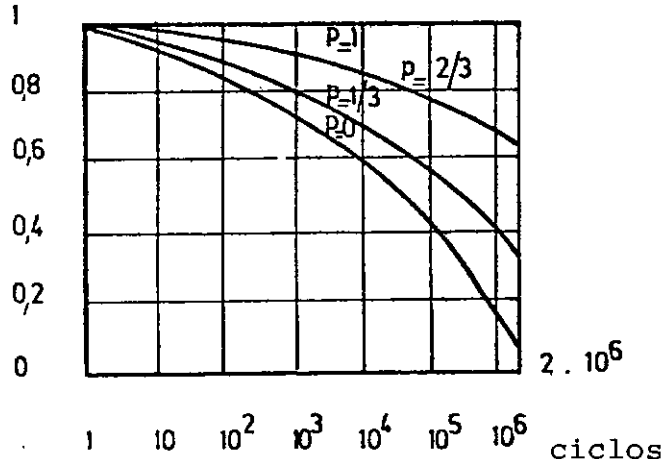


Fig. 6 - Espectros convencionais de carga

TABELA 4

Exemplos de classificação de aparelhos de levantamento

Definição do aparelho de levantamento	classe de utilização	estado de carga	grupo
1. Ponte rolante de central	A	0-1	1-2
2. Ponte de montagem e desmontagem para sala de máquinas	A	1-2	2-3
3. Ponte de almoxarifado	B-C	1-2	3-4-5
4. Ponte de oficina com gancho	B	1-2	3-4
5. Ponte com caçamba	B-C-D	3	5-6
6. Ponte para pátio de sucata ou ponte com eletro-ímã	B-C	3	5-6
7. Ponte para fundição	B	3	5
8. Ponte estripadora	C-D	3	6
9. Ponte "Pitt"	B-C	3	5-6
10. Ponte carregadora de forno	C-D	3	6
11. Ponte viradora para forja	C-D	2-3	5-6
12. Pórtico com gancho p/depósito de materiais	B-C	2	4-5
13. Pórtico com caçamba	B-C-D	3	5-6
14. Pórtico p/carregar ou descarregar s/veíc.	B-C	2	4-5
15. Pórtico para estocagem	B-C-D	3	5-6
16. Pórtico para serviços de montagem	A-B	1-2	2-3-4
17. Pórtico e guindaste para container	B-C	2	4-5
18. Guindaste para serviços de montagem	A-B	1-2	2-3-4
19. Guindaste com gancho	B-C	2	4-5
20. Guindaste com caçamba	B-C-D	3	5-6
21. Guindaste de porão	B	2-3	4-5
22. Guindaste portuário com gancho	B-C	2	4-5
23. Guindaste portuário com caçamba	B-C	3	5-6
24. Guindaste para serviço excepcional	A	0-1	1-2
25. Guindaste flutuante com gancho	A-B	2	3-4
26. Guindaste flutuante com caçamba	A-B	3	4-5
27. Guindaste de canteiro de obra	A-B	2	3-4
28. Guindaste de desempedimento em via férrea	A	1-2	2-3
29. Guindaste de bordo	B	2-3	4-5
30. "Derrick"	A	2	3
31. Monovia (conforme a utilização)	-	-	4-5-6

b) Critério americano

As pontes rolantes são divididas em 6 classes como definido na Tab.6.

As pontes siderúrgicas classificam-se de acordo com as condições de utilização definidas por um intervalo convencional de número de ciclos de levantamento esperados para trechos da estrutura para uma vida útil máxima de 50 anos conforme Tab.5. A condição de carregamento citada nesta tabela refere-se às condições de fadiga especificadas no AISC.²

Tabela 5

Classe do Edifício	Número convencional de Ciclos de Levantamento	Condição de Carregamento	Número de aplicações por dia
A	acima de 2×10^6	4	mais de 110
	5×10^6 a 2×10^6	3	25 a 110
B	1×10^5 a 5×10^5	2	5 a 25
C	2×10^4 a 1×10^5	1	1 a 5
D	menos de 2×10^4	-	-

(1) AISC - American Institute of Steel Construction.

TABELA 6
CLASSIFICAÇÃO AMERICANA

Classe da Ponte	Classe do Edifício	Edifícios	P	Número de levantamentos p/hora	Características
A1 Serviço estacionário ou de reserva	D	usina de força, sala de turbina, edifícios dos reatores nucleares, sala de motores, estação transformadora	-	-	-manuseio preciso da carga -velocidades baixas
A2 Serviço esporádico	D	oficinas de manutenção, sala de motores, laboratórios de ensaios	-	-	-velocidades baixas
B Serviço leve	C	oficinas de reparo, oficinas de montagem leve, armazéns	50%	2-5	-velocidades baixas
C Serviço moderado	B	oficinas mecânicas, linha de montagem, fábrica de papel, fundições leves	50%	5-10	-velocidades médias
D Serviço constante	B	oficinas mecânicas pesadas, fundições, fábricas de estruturas metálicas, depósitos de produtos siderúrgicos, serrarias (pontes de eletroimã)	50%-65%	10-20	operação contínua sem nenhum ciclo específico -velocidades altas
E Serviço pesado	A	pátios de sucata, fábrica de cimento, serrarias	85% 100%	20-40	
F Pontes siderúrgicas	A	edifícios do recozimento, pátio de tarugos, edifícios da corrida contínua, edifícios dos misturadores, fundições, edifícios do lingotamento, pátio de escarificação, edifício de recondicionamento de ligotes, pátio de sucata, edifício dos britadores, pátio de placas, edifício do forno-póço, aciaria, edifício do estripador	100%	> 25	
	B	-	-	5-25	
	C	-	-	1-5	
	D	-	-	-	

2.2.2. - Determinação das Reações das Rodas

Para uma via de rolamento a condição de carregamento preponderante sobre as demais é a correspondente a carga móvel e em se tratando de tensões locais reveste-se da maior importância.

A carga móvel é constituída pelas reações verticais e horizontais das rodas de translação e, eventualmente, dos rolos guias. Estas reações estão relacionadas com os pesos próprios da ponte, carro e mecanismo de elevação e seus respectivos acessórios. E, também, pelos efeitos dinâmicos devidos a:

- a aceleração ou a desaceleração dos movimentos de levantamento da carga, da translação do carro e da própria ponte rolante;
- marcha oblíqua da ponte rolante;
- aos choques produzidos na translação da ponte devidos aos defeitos e desgastes das rodas e a existência de desníveis nas juntas dos trilhos;
- ao levantamento ou ao abaixamento brusco da carga içada (esticamento do cabo no levantamento e a aplicação do freio de levantamento durante a descida da carga);
- aos choques produzidos pelo basculamento do carro devido a oscilação da carga nas pontes de guiamento rígido para o mecanismo de elevação.

2.2.2.1 - Notações empregadas

a) Características da ponte rolante

- P - peso próprio da estrutura da ponte, incluindo toda a maquinaria e equipamentos fixados permanentemente à ponte rolante ou que venha a ser instalado posteriormente, incluindo rodas, truques, equalizadores ou cabeceiras.
- C - peso próprio do carro incluindo toda maquinaria e equipamento fixados no mesmo.
- N - carga levantada: peso total levantado pelo gancho, incluindo a carga de serviço, todos os ganchos, barras de carga, eletroimãs ou outros acessórios necessários para o serviço, excetuando a carga G definida abaixo.
- G - peso da coluna, rama ou outros dispositivos para manipulação de material guiado rigidamente no sentido vertical durante a elevação.
- v_n - velocidade nominal de elevação da carga.
- v_c - velocidade nominal de deslocamento do carro.
- v_p - velocidade nominal de translação da ponte.
- j_c - aceleração média positiva ou negativa do carro.
- j_p - aceleração média positiva ou negativa da ponte.
- g - aceleração da gravidade.

b) Reações de uma roda carregada

- reação vertical:

V - reação estática (ponte em repouso)

V_d - reação dinâmica (ponte em movimento)

- reação horizontal longitudinal:

H_l - reação horizontal longitudinal devido a aceleração ou frenagem da ponte.

- reação horizontal transversal:

H_t - reação horizontal transversal

H_{tc} - reação horizontal transversal devido a aceleração ou frenagem do carro

H_{tp} - reação horizontal transversal devido a aceleração ou frenagem da ponte.

H_{to} - reação horizontal transversal devido a marcha oblíqua.

c) Coeficientes

μ - coeficiente de aderência entre a roda e o trilho.

ψ - coeficiente de majoração dinâmica das reações verticais da ponte

k_c - relação entre o número de rodas motoras do carro e o seu número total de rodas

k_p - relação entre o número de rodas motoras da ponte e o seu número total de rodas.

α_N - coeficiente que dá a fração da carga levantada a ser usada como reação horizontal transversal

λ - coeficiente que depende da relação entre o vão da ponte L e o entre-eixos da mesma B.

2.2.2.2 - Reações verticais

As reações verticais das rodas da ponte em movimento são obtidas multiplicando-se as reações estáticas das rodas correspondentes por um coeficiente dos efeitos dinâmicos. Com as notações definidas anteriormente, tem-se:

$$V_d = \psi \cdot V$$

O coeficiente ψ leva em conta os choques das rodas sobre seus trilhos de rolamento, provocados pelas juntas dos trilhos, pelos defeitos e desgastes das rodas, assim como pelo levantamento ou abaixamento brusco da carga.

a) normas americanas:

Para as pontes de classe A a F . $\psi = 1,25$, exceto para as pontes operadas por pendentes ($\psi = 1,10$) e para as pontes siderúrgicas usadas na manutenção da sala de motores ($\psi = 1,20$) devido as baixas velocidades.

b) normas européias

27

Na norma da FEM, este coeficiente é dado em função da velocidade de levantamento, em m/s, pela seguinte expressão:

$$\psi = 1 + 0,60 v_n \quad 1,15 \leq \psi \leq 1,60$$

Como este coeficiente de impacto corresponde ao da reação do carro sobre as traves da ponte, a maioria das normas adota um valor ligeiramente inferior para a viga de rolamento e é tabelado em função do grupo do aparelho de levantamento (Tab. 7).

Tabela 7

Grupo	ψ
1 - 2	1,10
3 - 4	1,15
5	1,25
6	1,35

2.2.2.3 - Reações horizontais longitudinais

As reações horizontais longitudinais aplicadas no topo do trilho pelas rodas motoras aparecem durante a aceleração ou desaceleração do movimento de translação da ponte rolante ou caso haja esforços diferenciais no acionamento.

As normas são unânimes em se tomar os valores máximos

das mesmas, obtidos multiplicando-se a reação vertical máxima estática de cada roda motora (calculada para a ponte em repouso) por um coeficiente de aderência μ da roda com o trilho. Geralmente adota-se $\mu = 0,20$, embora seu valor varie de 0,15 a 0,20 para trilhos secos e de 0,10 a 0,12 para trilhos úmidos.

Assim sendo:

$$\Sigma H_{1\max} = \mu k_p \Sigma V \quad \text{ou}$$

$$\Sigma H_{1\max} = 0,20 k_p (N + C + P)$$

2.2.2.4 - Reações horizontais transversais

As reações horizontais transversais resultam da aceleração ou desaceleração dos movimentos de translação do carro e da ponte rolante e são devidos a marcha oblíqua da ponte.

Esta marcha oblíqua provém de diversas causas:

a) Imperfeições da instalação:

- irregularidades nos alinhamentos e paralelismo entre trilhos de rolamento
- presença das juntas nos trilhos
- desgaste dos trilhos e das rodas
- diferença de diâmetros das rodas
- diferenças dos conjugados motores das rodas opostas
- esquadro imperfeito das traves e cabeceiras da ponte rolante

- desnível entre apoios, provocando declives diferentes nos caminhos de rolamento.

b) Ações das cargas:

- diferenças das reações das rodas sobre as duas filas de trilhos de rolamento, devido ao deslocamento do carro sobre a ponte
- deslizamento desigual das rodas sobre os trilhos
- deformações elásticas no plano da ponte rolante.

a) Normas americanas

Para as classes A a E

A reação total lateral nas vigas de rolamento é tomada como 20% da soma dos pesos da carga içada mais o peso do carro.

$$\Sigma H_t = 0,20 (N + C)$$

Esta força deverá ser aplicada no topo dos trilhos em direção normal às vias de rolamento e distribuída conforme a rigidez lateral da estrutura de suporte dos trilhos da ponte. Assim sendo, na Fig.8 mostra-se a seção transversal de um edifício industrial onde a coluna da ponte na fila B tem maior rigidez lateral que a da fila A, portanto neste caso aproximadamente todo o impacto lateral da ponte estará concentrado na via de rolamento da fila B.

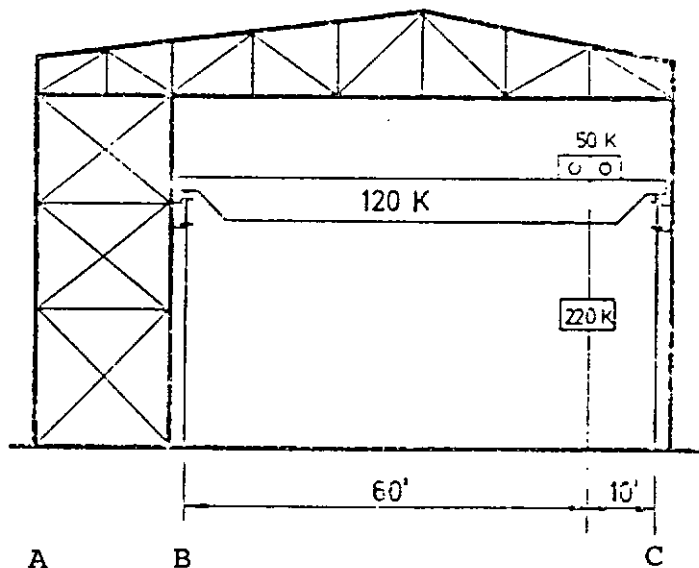


Figura 8

Para a classe F

A reação total lateral nas vigas de rolamento não deverá ser menor do que o maior dos valores abaixo:

1 - dos valores especificados em função da carga içada:

$$\Sigma H_t = \alpha_N \cdot N$$

onde:

$\alpha_N = 0,40$ para pontes siderúrgicas em geral e pontes de panela.

$\alpha_N = 1,00$ para pontes de caçamba e eletroimã, incluindo o patio de placas e patio de tarugos.

$\alpha_N = 2,00$ para pontes de forno poço onde N é a soma dos pesos do lingote e da lingoteira.

$\alpha_N = 0,30$ para pontes de sala de motores e pontes de manutenção.

- 2 - 20% da soma dos pesos da carga içada, carro, coluna, embolo ou outro mecanismo de elevação de guiamento rígido durante o levantamento da carga.

$$\Sigma H_t = 0,20 (N + C + F)$$

- 3 - 10% da soma dos pesos da carga içada e de toda ponte incluindo o carro, truques e rodas.

$$\Sigma H_t = 0,10 (N + C + P)$$

Para as pontes rolantes desta classe esta reação é igualmente distribuída para ambas as vias de rolamento.

b) Normas européias

Estas reações transversais são decompostas nas seguintes parcelas:

- reações H_{tc} devidas ao movimento do carro
- reações H_{tp} devidas ao movimento da ponte
- reações H_{to} devidas a marcha oblíqua da ponte.
- Reações H_{tc} devidas a aceleração ou frenagem do carro

A aceleração ou a frenagem do movimento de translação do carro fazem surgir reações horizontais transversais ao caminho de rolamento. Estas forças transversais são calculadas em função da aceleração e desaceleração máximas que se produzem em serviço normal.

$$\Sigma H_{tc_{max}} = (N + C) \frac{2jc}{g} \leq (N + C) \mu k_c$$

onde $\mu = 0,20$ (trilho seco).

O valor da aceleração média positiva ou negativa é um dado fornecido pelo fabricante da ponte ou fixado pelo usuário. Caso tal dado não seja conhecido, poderão ser utilizados, a título de orientação, os valores das acelerações médias que estão dadas na Tabela 8 em função da velocidade de movimento.

TABELA 8

V e- l- o- c- i- d- a- d- e	1.		2.		3.	
	Velocidade lenta e média com grande percurso		Velocidade média e rápida (aplicações correntes)		Velocidade rápida com fortes acelerações	
	Duração da aceleração	Aceleração média	Duração da aceleração	Aceleração média	Duração da aceleração	Aceleração média
m/s	s	m/s ²	s	m/s ²	s	m/s ²
4,10			8,0	0,50	6,0	0,67
3,15			7,1	0,44	5,4	0,58
2,50			6,3	0,39	4,8	0,52
2,00	9,1	0,22	5,6	0,35	4,2	0,47
1,60	8,3	0,19	5,0	0,32	3,7	0,45
1,00	6,6	0,15	4,0	0,25	3,0	0,33
0,63	5,2	0,12	3,2	0,19		
0,40	4,1	0,098	2,5	0,16		
0,25	3,2	0,078				
0,16	2,5	0,064				

O valor da força total de aceleração do carro deverá estar limitada pelo atrito entre as rodas motoras do carro e os trilhos sobre as travessas da ponte. (Fig.9).

- Reações H_{tp} devidas a aceleração e desaceleração da ponte

Supondo-se uma ponte rolante com sincronização (em revoluções) das rodas motoras de ambas as cabeceiras, pode-se admitir, neste caso, que a força trativa se distribua por igual nas rodas motoras de um e de outro trilho, com resultante no eixo de ambas.

A resultante das forças de inércia da ponte, carro e carga, na posição deslocada, tem uma excentricidade c_{max} em relação ao referido eixo. Esta excentricidade conduz ao aparecimento de forças horizontais transversais que formam um par equilibrante como se indica na Fig.10.

O valor máximo destas forças corresponderá ao deslocamento máximo do carro e, portanto, a excentricidade máxima e seu valor será:

$$H_{pmax} = \pm \sum H_{lmax} \frac{e_{max}}{B}$$

Considera-se que a carga está na posição mais elevada.

$$\sum H_l = 0,20 \cdot k_p (N + C + P)$$

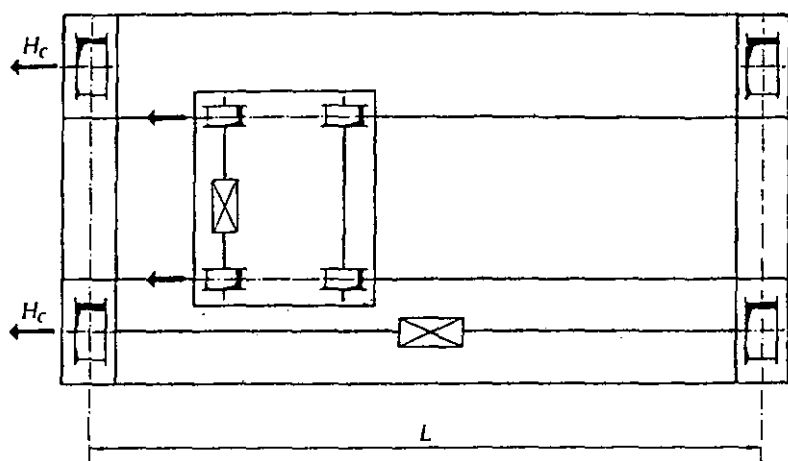


Figura 9

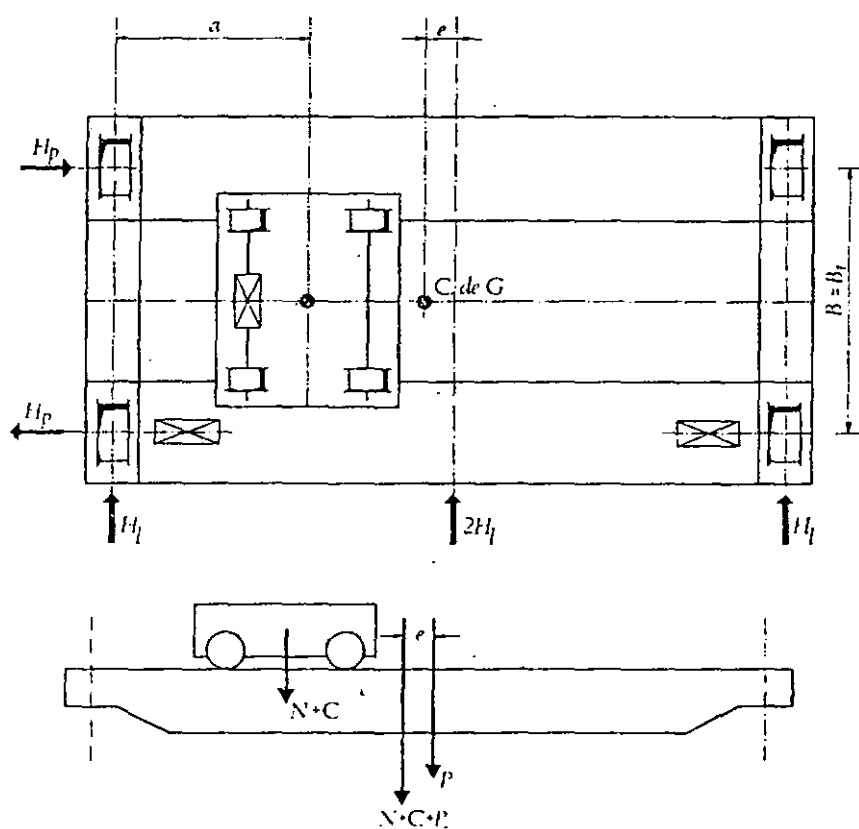


Figura 10

- Reações H_{to} devidas a marcha oblíqua da ponte

A marcha oblíqua da ponte dá origem a reações horizontais transversais (iguais e opostas) nas rodas de translação extremas ou rodas guias extremas. Na falta de um cálculo mais exato em que se consideram as particularidades construtivas da ponte rolante em questão e as do seu mecanismo de translação, pode-se adotar como valor de cada força horizontal H_o , constituintes do par, dada pela expressão:

$$H_o = \lambda V$$

onde:

V - reação vertical correspondente a roda extrema aonde aparece a reação horizontal ou no truque das rodas extremas.

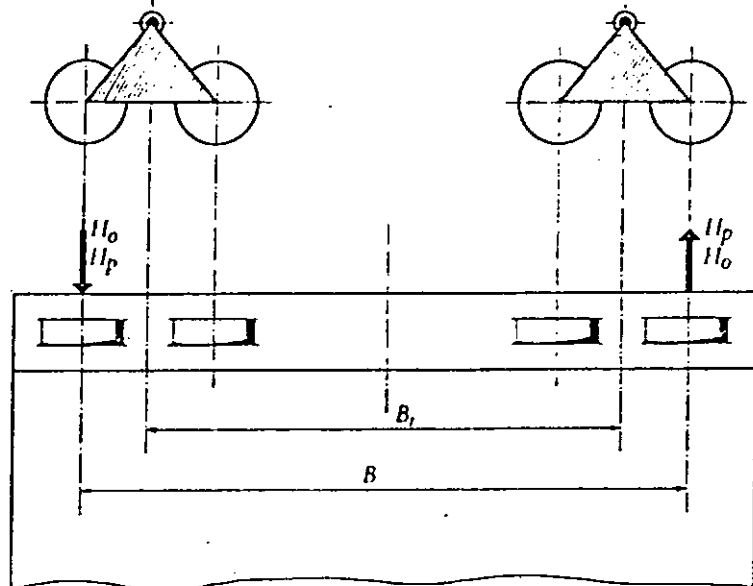
λ - coeficiente que depende da relação entre o vão L e o entre eixos B_1 (esbeltez da ponte)

para $L/B_1 \leq 2$ $\lambda = 0,05$

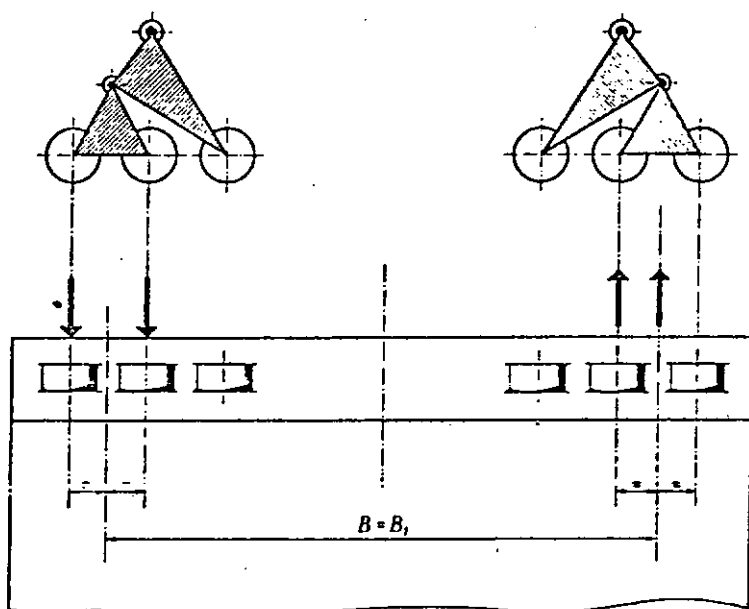
para $2 < L/B_1 \leq 8$ $\lambda = 0,025 L/B_1$

para $L/B_1 > 8$ $\lambda = 0,20$

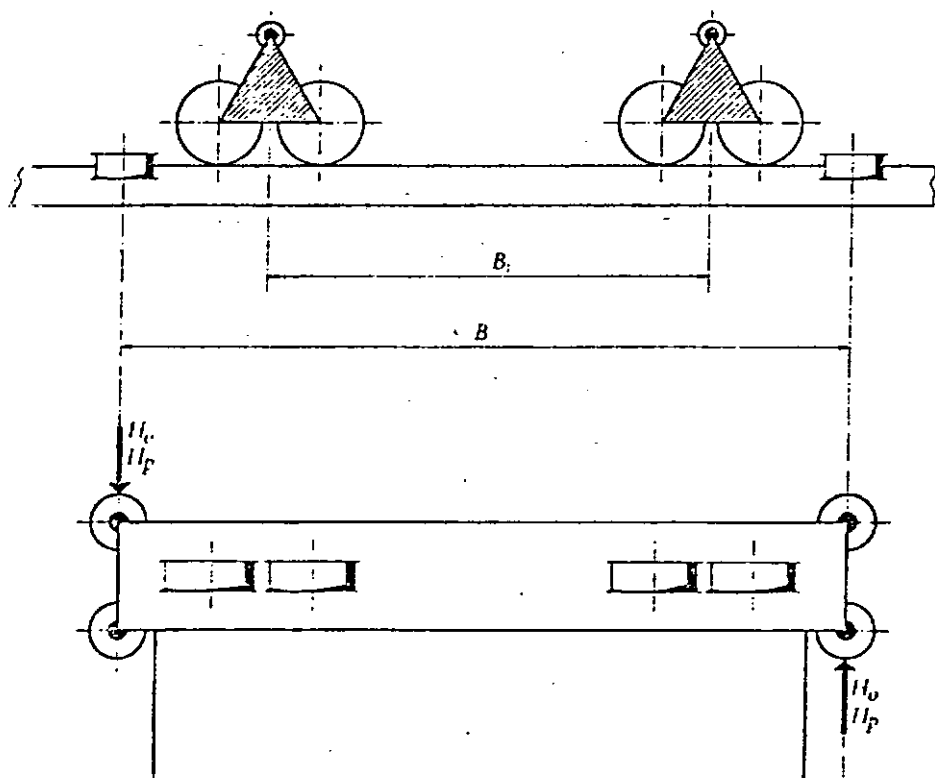
B_1 - entre-eixo, definido pela distância entre os eixos das rodas extremas (Fig.11-a) ou quando se trata de truques a distância entre os eixos das articulações na estrutura dos dois truques ou conjunto de truques (Fig.11-b). Caso existam rodas de guia horizontais, entre-eixo é a distância que separa os pontos de contato com o trilho entre duas rodas horizontais. (Fig.11-c)



(a)



(b)



(c)

Figura 11

2.2.2.5 - Ponto de Aplicação das Reações das Rodas

- Reações verticais

Para se levar em conta as tolerâncias de execução e montagem tanto da ponte rolante como das vias de rolamento, admite-se que as reações verticais tenham uma certa excentricidade horizontal. Esta excentricidade pode ser devido a:

a) excentricidade da carga vertical sobre o trilho resultante:

- da flexibilidade da ponte rolante de grande porte que produz rotações diretamente nos apoios, descolando assim o ponto de contato entre a roda e o trilho para o interior do edifício.
- do desgaste diferencial devido a marcha oblíqua da ponte.

b) excentricidade do trilho em relação a alma resultante:

- da imperfeição da colocação do trilho desde a montagem.
- do jogo lateral do trilho (trilho flutuante)
- do arqueamento ou empenamento do trilho
- do arqueamento ou curvatura transversal da mesa
- o boleto do trilho pode estar descentrado em relação a alma do mesmo.
- erro no posicionamento da mesa sobre a alma da viga de rolamento.

- norma européia

Manda-se tomar a excentricidade como sendo igual a $1/4$ da largura do boleto para as pontes rolantes de classes 1 a 3 e $1/2$, para as classes 4 a 6.

- norma americana

Não se considera para efeito de cálculo a existência da excentricidade da reação vertical.

b) Reações horizontais transversais

As reações transversais são aplicadas, geralmente, em dois pontos:

- na largura útil do boleto devido ao atrito entre este e a pista da roda;
- na borda do boleto devido ao choque do flange da roda.

Todas as normas admitem, para simplificar, que todo o esforço transversal acha-se aplicado na face superior do boleto, logo a sua excentricidade será dada pela diferença de nível entre o topo do trilho e o ponto de aplicação do travejamento. Na maioria dos casos, toma-se como sendo igual a altura do trilho.

2.3 - DETERMINAÇÃO DAS TENSÕES NAS VIGAS DE ROLAMENTO

Para se determinar as tensões atuantes nas vigas de rolamento, deve-se levar em conta os seguintes efeitos:

- 1 - efeitos globais
- 2 - efeitos locais
- 3 - fadiga

Os efeitos globais resultam de uma flexão geral da via de rolamento tanto no plano vertical como no horizontal e de uma torção geral da via de rolamento provocada pela excentricidade das reações da roda em relação ao centro da torção.

Os efeitos locais resultam de uma torção local da mesa, alma e soldas de ligação que é provocada pelas excentricidades das cargas ao atuar sobre um trecho da viga entre dois enrijecedores verticais, de uma pressão local sobre a extremidade superior da alma, e de uma flexão local (longitudinal e transversal) da mesa superior devido a passagem da roda.

Os efeitos de fadiga nos elementos de uma via de rolamento são provocados pela passagem repetida das rodas da ponte. Isto origina tensões admissíveis inferiores para tais elementos, a que corresponderia o cálculo estático sem levar em conta tal efeito.

2.3.1 - Efeitos globais

O procedimento para determinação das tensões provocadas por flexão e torção depende da disposição construtiva adotada para a via de rolamento.

Sobre a via de rolamento de uma ponte rolante incidem as rodas de translação da mesma, conseqüentemente, a disposição construtiva a ser empregada deve suportar as reações verticais e horizontais originadas pelo deslocamento da ponte. Assim sendo, a configuração de uma via de rolamento varia segundo o vão, a capacidade e o regime de trabalho da ponte e por fim, o vão da via de rolamento.

Basicamente, em termos de instalações siderúrgicas as seções usuais para as vias de rolamento são em quadro, podendo ser quadro deslocável ou quadro rígido (caixão) devido a necessidade de se ter ao longo da via uma passarela que sirva de plataforma de reparo para execução da troca dos rodeiros da ponte e da saída de emergência das cabines de controle da ponte, particularmente, nas pontes de panela.

O quadro é formado por duas vigas verticais, uma sob o trilho chamado de viga vertical principal ou viga de rolamento e a outra, de viga auxiliar ou secundária, ligadas entre si por duas vigas horizontais, superior e inferior.

As vigas de rolamento empregadas nestas instalações são

vigas bi-apoiadas, em decorrência de uma série de vantagens apresentadas por este sistema estrutural:

- o dimensionamento fácil envolvendo as diversas combinações e cargas;
- os recalques diferenciais nos apoios não introduzem esforços adicionais e podem ser facilmente corrigidos pela colocação de calços nos apoios da viga de rolamento;
- a remoção rápida quando for necessário;
- a possibilidade de reforço e fácil execução quando se aumenta a capacidade da ponte instalada.

Embora o emprego da viga contínua possa permitir uma certa economia em peso, este sistema estrutural apresenta uma série de inconvenientes:

- o sentido do momento fletor varia com a posição do trem-tipo da ponte rolante resultando em esforços alternados que são muito mais desfavoráveis à fadiga que os esforços ondulados que ocorrem quando se usa vãos simples;
- o recalque eventual da coluna de suporte introduz esforços suplementares de flexão;
- a dilatação acumulada dos vários vãos contínuos sucessivos em vigas de rolamento sujeitas a sensíveis

variações de temperatura requer o emprego de apoios deslizantes de execução complicada e de comportamento duvidoso;

- a superposição, na vizinhança dos apoios, das tensões globais e locais pode levar a uma tensão equivalente elevada, uma vez que a viga de rolamento na sua mesa superior está submetida a uma tração e a um cisalhamento máximos.

2.3.1.1 - Determinação dos efeitos globais para o quadro deslocável

No caso mais corrente, a seção transversal da via de rolamento pode ser considerada como um quadro deslocável desde que as ligações entre as vigas verticais e horizontais sejam efetuadas nos bordos por chapas de ligação bastante flexíveis de modo a poderem ser assimiladas a rótulas e por fim, só poderão ter septos em treliça nos apoios.

Admite-se que a viga de rolamento suporte as reações verticais das rodas e que as reações horizontais sejam resistidas pela viga horizontal superior.

Como as reações verticais não se exercem diretamente segundo o eixo da alma da viga de rolamento e as reações horizontais estão aplicadas no topo do trilho, portanto acima do plano da viga horizontal superior, tem-se um momento de torção em rela-

ção a interseção da viga de rolamento com a sua viga horizontal superior.

Por meio dos enrijecedores verticais na alma da viga de rolamento, o momento torsor desperta duas forças horizontais iguais e de sentidos opostos nos planos das mesas da viga de rolamento introduzindo momentos fletores nas vigas horizontais (Fig. 12).

Neste sistema estrutural, os enrijecedores da alma têm uma dupla finalidade, a de garantir a transmissão do momento torsor e a de combater a flambagem da alma.

2.3.1.2 - Determinação dos efeitos globais para o quadro rígido

Nos casos menos usuais, a seção transversal da via de rolamento é considerada como um caixão rígido onde as vigas verticais e horizontais são contraventadas transversalmente nas seções intermediárias entre os apoios, seja por diagonais cruzadas ou através de septos plenos com aberturas de acesso enrijecidas.

O conjunto da via de rolamento é calculado simultaneamente a flexão e a torção, determinando-se o centro de torção da seção formada pelas quatro vigas e aplicando-se neste ponto as componentes verticais e horizontais das reações das rodas, bem como os momentos correspondentes às excentricidades destas componentes em relação ao centro de torção. (Fig.13).

As excentricidades das reações da roda em relação ao ponto de interseção da viga de rolamento com a viga horizontal superior resulta num momento torsor que, quando situado entre dois enrijecedores consecutivos, provoca uma torção local da mesa superior e uma flexão transversal da alma.

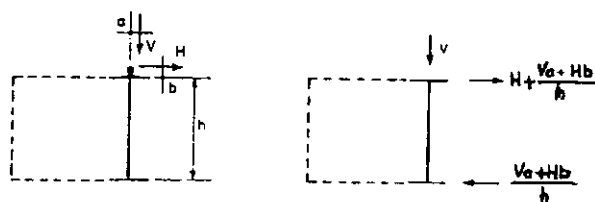


Fig. 12 - Quadro Deslocável

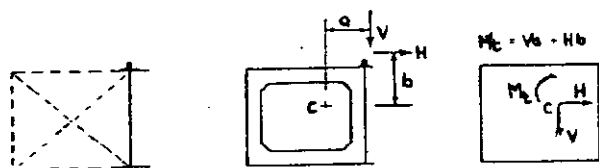


Fig. 13 - Quadro Rígido

2.3.2 - Efeitos locais

As reações das rodas da ponte rolante são cargas concentradas elevadas, que independentes das solicitações globais, introduzem tensões locais apreciáveis nos elementos que concorrem na parte superior da viga de rolamento. Estas tensões locais tornam-se críticas quando se considera, como é lógico fazê-lo, uma certa excentricidade do trilho em relação a linha de centro da alma.

As perturbações locais produzidas pelas reações da roda são:

- na alma: pressão local e flexão transversal;
- na mesa superior: torção local, flexão transversal e longitudinal.

Denominamos de pressão local a pressão transmitida à alma da viga, devido a reação vertical da roda, que solicita uma zona reduzida da alma e dos elementos de ligação. A pressão local provoca tensões verticais elevadas, a deformação resultante cria uma depressão na alma e esta, por sua vez, acarreta tensões de flexão longitudinal da mesa e tensões cisalhantes das soldas.

Dependendo do tipo de contato que se estabelece entre o trilho e a mesa poderão surgir tensões de flexão transversal da mesa superior.

2.4 - DISPOSIÇÕES CONSTRUTIVAS

2.4.1 - Trilhos, Fixações e Bases

2.4.1.1 - Trilhos

Embora os trilhos da ponte rolante não sejam elementos estruturais, a experiência tem comprovado que sérios problemas de manutenção decorrem de instalações de trilhos mal detalhadas.

A escolha do trilho a ser empregado está condicionada às características da ponte rolante (reações das rodas, classificação da ponte, diâmetro e perfil da roda de translação e do tipo de guiamento lateral) e esta seleção é feita normalmente pelo fabricante do equipamento, ao passo que o sistema de fixação, bases e emendas está a cargo do projetista da via de rolamento.

As formas mais usuais dos trilhos são as da Fig.14. Os de perfil retangular (Fig.14-a,b) são empregados somente para pontes de pequenas capacidades e pouco uso. Para as de maior capacidade usam-se os trilhos ferroviários e os trilhos especiais para ponte rolante. Os primeiros (Fig.14-c) são inadequados para a grande maioria das aplicações atuais de aparelhos de levantamento, onde se tem reações de roda elevadas, devido a sua alma alta e fina e ao boleto estreito. Já existem atualmente pontes rolantes em siderurgia com reação vertical de roda de 180t e lateral da ordem de 20t. Para se atender a este desenvolvimento, foram projetados trilhos especiais adequados a estas aplicações.

Estes perfis especiais são importados e existe uma variação considerável entre os mesmos de acordo com a sua procedência. No Brasil, os mais empregados são os perfis do tipo americano (Fig.14-d) e alemão (Fig.14-e-f).

O americano possui uma maior altura por peso que o correspondente alemão, contribuindo assim para uma maior rigidez a flexão local longitudinal do trilho e da mesa superior da viga de rolamento e a uma redução na pressão local da roda na junção da alma com a mesa superior.

O alemão possui uma maior largura de patim, o que proporciona uma maior estabilidade do trilho e uma maior rigidez a torção local do trilho e da mesa superior.

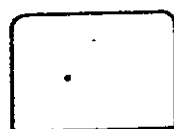
2.4.1.2 - Sistemas de fixação

Um dos aspectos mais sérios e mais controvertidos é o da escolha de um sistema de fixação dos trilhos.

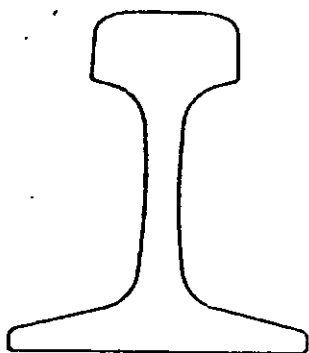
A fixação dos trilhos da ponte nas vigas de rolamento tem causado problemas para os engenheiros de manutenção desde a introdução do emprego de pontes rolantes em usinas siderúrgicas. Os problemas têm sido o afrouxamento das fixações do trilho seguido por ruptura por fadiga dos parafusos, pinos ou soldas de fixação, desgaste do boleto do trilho e desgaste dos trilhos nas juntas. Estes problemas são algumas vezes acompanhados de ruptura



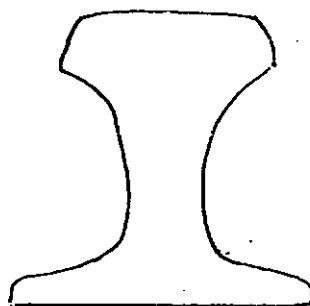
(a)



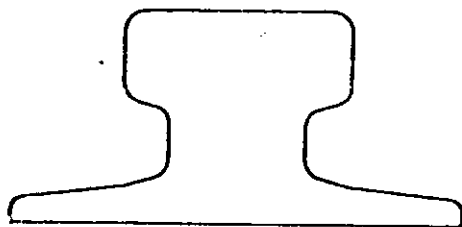
(b)



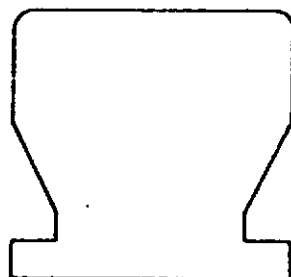
(c)



(d)



(e)



(f)

Figura 14

por fadiga de soldas e chapas em vigas de rolamento.

Existem duas razões primordiais para estes problemas. Primeiro, o trilho repousa em superfície que altera o seu comprimento durante a passagem da ponte devido ao encurtamento da mesa comprimida da viga de rolamento que provoca um afrouxamento das fixações seguido de desgaste da mesa superior produzidos por "fretting" (processo de desgaste que conduz a falhas de fadiga em superfícies em contato que apresentam micro-movimentos de escorregamento).

Segundo, o trilho tem uma tendência a se levantar do seu apoio atrás de cada roda da ponte na sua translação, produzindo o efeito conhecido por "bow-wave" que resulta na fadiga das fixações quando elas começam a trabalhar frouxas.

Em resumo, o que se espera de um sistema de fixação é que o mesmo contenha os movimentos laterais do trilho para se garantir o espaçamento entre linhas de centro dos trilhos dentro dos limites de tolerância para o gabarito da ponte e que impeça o tombamento do mesmo frente a ação de forças transversais. Além disso, deve-se permitir uma liberdade de movimento do trilho no sentido longitudinal devido as dilatações térmicas e as elongações provocadas pela translação da ponte. Um outro requisito fundamental é a facilidade de instalação e manutenção.

O tipo mais empregado para fixação dos trilhos é por pressão, através de grapas de diferentes formas, para permitir

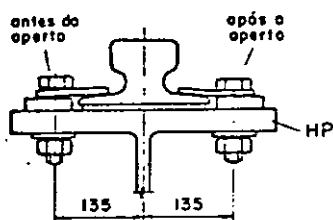
correções posteriores do alinhamento e substituição mais fácil.

A grapa mais simples é composta de duas chapas (Fig. 15): a inferior, para posicionar o trilho e a superior, com a função de pressionar o trilho contra a mesa superior da viga de rolamento. O furo excêntrico da chapa inferior permite quatro posições diferentes de ajuste para alinhar o trilho. A chapa inferior deve ter uma espessura menor (cerca de 2 a 3mm.) que a cota da base ao ponto em que a chapa superior se apoia no trilho, para permitir o efeito de mola deste último. Neste tipo, quando ambas as chapas inferiores estão encostadas no trilho, tem-se o chamado "*trilho fixo*", quando não se tem o "*trilho flutuante*". A flutuação máxima permitida pela AISE #13⁵, item 5.1.6, é de ± 6 mm. Neste tipo de fixação é importante que haja uma inspeção periódica pelo fato dos trilhos terem abas de faces não paralelas e, ao se moverem lateralmente, exercem uma ação de cunha que tende a provocar a ruptura prematura dos parafusos de fixação.

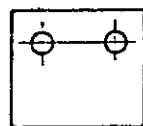
Outro sistema simples é o da chapa superior curva, de modo a formar uma mola, conforme indicado na Fig.16.

Na Fig.17 são mostrados alguns exemplos de fixação com grapas forjadas ou fundidas, mais sofisticadas, que permitem melhor ajuste e possuem pequena altura. A altura reduzida é necessária quando o guiamento da ponte é feito por meio de rolos guias horizontais.

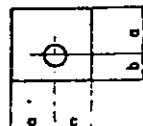
As forças laterais que atuam nos trilhos são absorvi-



a) Corte transversal

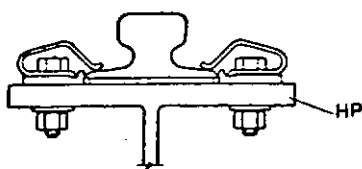


b) Chapa superior



c) Chapa inferior

Figura 15



a) Corte transversal

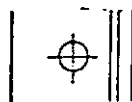


vista de frente



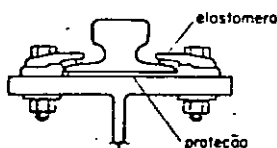
vista lateral

b) Chapa superior em mola

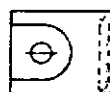


c) Chapa superior

Figura 16



a) Grapa forjada. Correção de ajustamento com canaleta inclinada

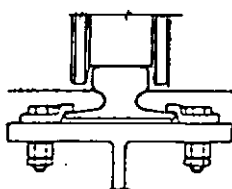


Peça superior



Peça inferior

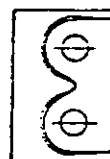
Figura 17



a) Grapa forjada com peça única



Corte



Vista superior

das pelas grapas aparafusadas ou soldadas ou por guias laterais contínuas.

É comum a fixação do trilho com grapas aparafusadas a cada 1000mm. e chapas soldadas intermediariamente, após o alinhamento final dos trilhos, para absorção das cargas horizontais.

2.4.1.3 - Bases de trilhos

Tem-se desenvolvido pesquisas na busca de um tipo de material a ser interposto entre o trilho e a mesa superior de rolamento para pontes rolantes de serviço pesado de modo a reduzir ou eliminar uma série de problemas que ocorrem na transferência direta da carga do trilho para a mesa da viga de rolamento.

O primeiro aspecto analisado foi o de se eliminar o desgaste na mesa superior da viga de rolamento provocado pela movimentação relativa entre o trilho e a viga. Uma solução paliativa encontrada foi a colocação de chapa de desgaste, com espessuras usuais de 6 a 12mm ligadas longitudinalmente à viga. Esta solução permitia que o desgaste ocorresse num elemento de fácil substituição e, como decorrência, obteve-se uma pequena redução nas tensões locais na parte superior da viga de rolamento.

O objetivo principal foi o de se encontrar um material que possibilitasse uma melhor transferência da carga do trilho para a região de junção da mesa com a alma devido ao contato aleatô

rio que se processa entre o patim do trilho e a mesa. Estes contatos resultam das irregularidades no patim do trilho inerentes ao processo de laminação dos mesmos e das deformações da mesa da viga de rolamento produzidas pela retração das soldas de ligação da mesa com a alma.

Graças à combinação de borracha sintética fretada com telas de algodão, conseguiram-se placas de elastômero que vem sendo largamente empregadas nas vigas de rolamento de usinas siderúrgicas européias.

Dentre as vantagens apresentadas por esta base pode-se destacar:

- 1 - redução das tensões locais na alma, na mesa superior e nas soldas de ligação da mesa com a alma;
- 2 - redução considerável no nível de ruído;
- 3 - amortecimento dos choques;
- 4 - redução do desgaste dos trilhos e dos flanges dos rodeiros da ponte.

A colocação das placas de elastômero (Fig.18) permite que a carga, a partir do trilho, se distribua quase que uniformemente sobre toda a largura do trilho e longitudinalmente sobre um maior comprimento, provocando desta forma reduções substanciais nas tensões locais, chegando a atingir em certos casos a 40%, conforme ensaios experimentais efetuados por MOLYNEAUX e MOLYNEAUX.

Em contrapartida, introduz-se uma flexão transversal da mesa que pode ser corrigida projetando-se uma placa de perfil adequado com maior rigidez na parte central.

Foi desenvolvido na Rússia³⁵ um sistema de base e fixação de trilhos para pontes siderúrgicas que baseados em ensaios comparativos feitos durante 4 anos apresentaram um melhor desempenho que os demais (Fig.19).

2.4.1.4 - Tolerâncias de montagem

Para assegurar o bom funcionamento da ponte rolante existem diversas tolerâncias que devem ser respeitadas, geralmente fixadas por normas ou então estabelecidas pelo fabricante do equipamento. Estas variam de acordo com as condições de serviço da ponte rolante e tendem a ser mais restritivas para as pontes siderúrgicas. Geralmente, são medidas antes da aceitação final do equipamento e sofrem modificações depois de curto espaço de tempo, em decorrência das condições de uso e do projeto estrutural, tornando extremamente difícil a determinação de tolerâncias gerais de serviço, para alinhamento e nivelamento dos trilhos. Grandes variações em relação às tolerâncias de montagem induzem a excessivo desgaste dos trilhos, rodas e possíveis danos à estrutura. Ocorrendo um desses casos, é importante para o esclarecimento da causa do dano uma medição rigorosa das distâncias entre trilhos, do seu alinhamento e nivelamento, assim como das distâncias equivalentes da ponte rolante. As mais correntes são relativas a:

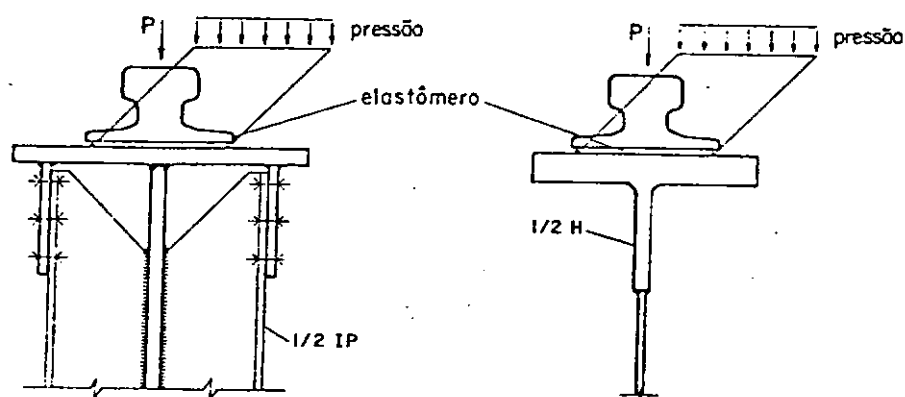


Figura 18

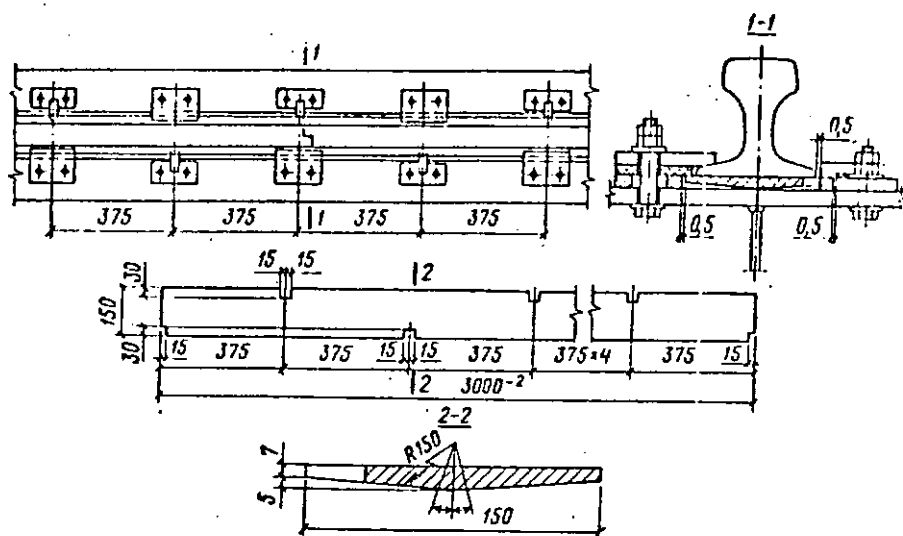


Figura 19

- desnível transversal entre trilhos da ponte
- distância entre centros de trilhos
- alinhamento dos trilhos
- declividade do trilho
- excentricidade do trilho em relação a alma
- alinhamento de batentes
- flechas das vigas de rolamento
- inclinação do eixo da roda.

A seguir são apresentados esclarecimentos sobre as principais tolerâncias e os efeitos que podem ser causados por grandes variações das mesmas.

a) Distância entre centro de trilhos

No caso de pontes rolantes guiadas dos dois lados, grandes variações na distância entre trilhos podem fazer com que a ponte fique entalada entre eles, causando elevado desgaste das rodas e trilhos e solicitação adicional da viga de rolamento e da ponte rolante. O efeito é tanto maior quanto mais rígida for a estrutura.

Para as pontes rolantes guiadas somente por um lado ou para as vigas de rolamento de semi-pórtico com apoio em pêndulo, variações de distâncias entre trilhos têm pouca importância.

b) Alinhamento do trilho

Mantida a bitola, o desalinhamento simultâneo dos trilhos tem pouca influência no funcionamento da ponte rolante. Os empenos localizados devem, entretanto, ser mantidos dentro de limites, uma vez que provocam cargas horizontais acentuadas, com repercussão no desgaste do material. Para o trilho de guia não deve haver variação maior que 3mm. em qualquer trecho de 2m.

c) Nivelamento de trilho e variação da altura entre dois trilhos

Variações da altura para longos caminhos de rolamento não têm maior significado; em trechos pequenos, essas variações devem ser mantidas dentro das tolerâncias. Convém lembrar que pontes rolantes dotadas de rodas com rolamentos podem se autolocalizar em declividades de 1% a 2%.

d) Diferença de declividade entre os trilhos

Nos casos de pontes rolantes muito rígidas, com apoios hiperestáticos, a diferença da declividade entre os trilhos pode provocar transferência de carga entre os apoios das rodas. Para variações acentuadas, há um aumento sensível das tensões locais na viga de rolamento e na cabeceira da ponte, podendo provocar danos relevantes.

Nas pontes menos rígidas, essa influência é reduzida ou inexistente.

e) Alinhamento dos batentes

A defasagem entre os batentes no final das vigas de rolamento força a ponte, em caso de impacto, a assumir uma posição oblíqua, ocasionando esforços na estrutura da viga de rolamento e da ponte.

2.4.2 - Viga Vertical principal ou Viga de Rolamento

Esta viga acha-se diretamente submetida às reações da roda de translação da ponte rolante, podendo ser de alma cheia ou em treliça. Embora a solução em treliça possa levar a uma economia em peso, ela apresenta inconvenientes tais como, fabricação e manutenção mais caras, menor rigidez, corda superior reforçada para resistir a flexão local devido a carga móvel entre nós consecutivos de ligação e concentrações de tensões nas chapas de ligação.

Por estas razões, adota-se normalmente a solução em alma cheia dando-se uma espessura suficiente para resistir sem flambear as tensões normais e cisalhantes da flexão no seu próprio plano, da pressão local exercida pelas rodas e da flexão local transversal provocada pela torção local da mesa superior resultante das excentricidades das reações verticais e horizontais da roda.

A atuação de solicitações locais repetidas, quando não existe uma perfeita ajustagem entre a alma e a mesa superior e a

ligação entre as mesmas é feita por soldas de filete, fica submetida a tensões alternadas que conduzem à formação de fissuras de fadiga. Estas fissuras poderão se dar nas próprias soldas ou então nas zonas afetadas termicamente pelo processo de soldagem quando existem entalhes de fabricação, rebaixos, crateras resultantes de troca de eletrodo ou perfil inadequado de solda.

Baseando-se neste fato, as normas passaram a exigir o emprego de soldas de penetração total, com preparação de bordo quando necessário, para a ligação da alma com a mesa superior.

Um recurso para que se evitem tais inconvenientes e ao mesmo tempo permita uma economia em peso sobre o restante da alma é adotar uma disposição construtiva tal que as soldas de ligação da mesa com a alma fiquem situadas numa região onde as solicitações locais achem-se amortecidas.

44

Com este objetivo MAAS (Fig.20) empregou na extremidade superior da alma uma barra de mesma espessura que a base do trilho (trilho de patim estreito) SENIOR e GURNEY utilizaram um perfil T obtido a partir de perfis I ou H laminados (fig.21). Quanto à última solução, dependendo das qualidades do aço, tem-se observado a formação de fissuras de fadiga na ligação do perfil com a alma da viga originados da variação brusca de espessura, das tensões residuais de laminação e das segregações que ocorrem na parte central do perfil.

Com relação às mesas da viga de rolamento é convenient-

te usar-se na mesa superior uma espessura maior do que a inferior uma vez que a primeira está sujeita a esforços adicionais de flexão horizontal e de torção local. Esta disposição tem ainda a vantagem de aproximar o centro de torção do trilho reduzindo, consequentemente, o momento de torção global e permite também uma redução na pressão local sobre a alma.

Uma disposição construtiva que deve ser evitada é a de se usar a mesa superior em lamelas. Observa-se, frequentemente, a formação de fissuras nas soldas longitudinais entre as lamelas resultante dos esforços alternados a que estão submetidas estas ligações. A retração das soldas provoca o curvamento das chapas e consequente afastamento entre as mesmas que são forçadas a ficar em contato pela passagem das rodas. (Fig.22) Um outro ponto crítico para formação de fissuras é a extremidade da lamela que obriga a execução de um dente na chapa da alma. Nas extremidades destes recortes cria-se um entalhe que é agravado pela presença da solda e da variação da seção transversal. Assim sendo, recomenda-se o emprego de uma mesa superior única de seção constante ou variável e no último caso pode-se fazer a variação seja pela redução suave da espessura ou por uma redução progressiva da alma.

2.4.2.1 - Enrijecedores principais

Os enrijecedores verticais principais destinam-se a combater a flambagem da alma e prestam-se, além disso, para transmitir os esforços horizontais provenientes do momento de torção glo

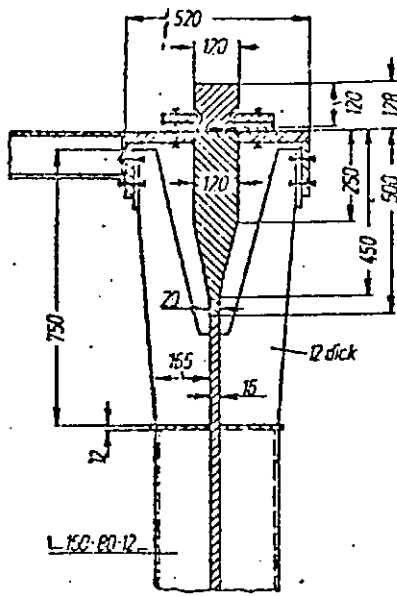


Figura 20

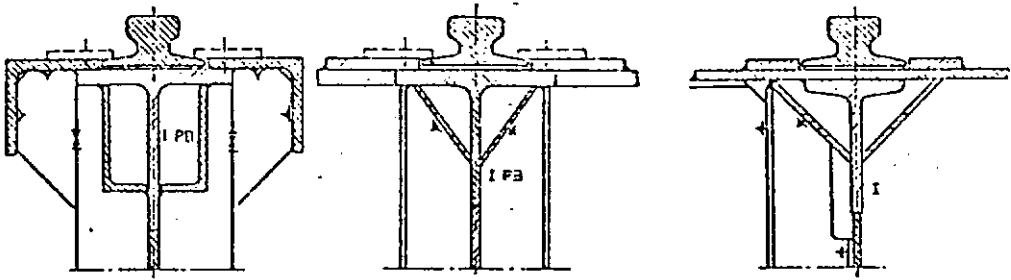


Figura 21

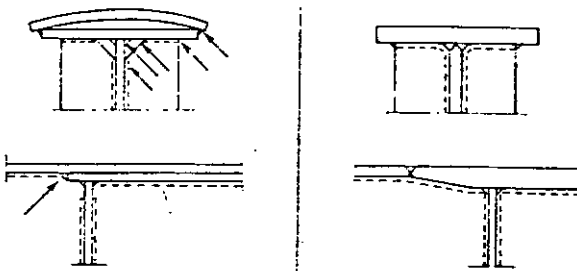


Figura 22

bal correspondente às excentricidades das reações verticais e horizontais da roda. Desta forma, os espaçamentos e as seções transversais dos enrijecedores deverão ser determinados para levar em conta os efeitos desta torção e não mais com base nos métodos clássicos de dimensionamento de vigas esbeltas submetidas a cargas no plano da alma e próximo dos enrijecedores.

Existem diversas disposições correntes que estão indicadas na Fig.23 e sobre as quais indicaremos as vantagens e desvantagens.

Os enrijecedores principais devem se estender ao longo de toda a altura da alma e os seus espaçamentos devem ser no máximo iguais aos de uma viga similar com carga situada no plano da alma. Estes enrijecedores, de preferência, deverão ser soldados às faces internas das mesas para permitir as melhores condições de transmissão entre si dos esforços horizontais do conjugado de torção. Caso não se faça este tipo de ligação, deve-se garantir que as tensões de flexão e cisalhamento na alma no trecho entre a extremidade do enrijecedor e a mesa estejam abaixo das tensões admissíveis.

Qualquer que seja a disposição empregada, os enrijecedores deverão ser soldados à mesa superior para se oporem a flexão transversal da mesa e evitar uma martelagem da extremidade superior dos mesmos devido a passagem das rodas.

Na Fig.24 tem-se um tipo de detalhe que era recomendado

pela AISE#13⁴, em que o enrijecedor é soldado somente segundo a alma, ajustado à face inferior da mesa sob o trilho e interrompido próximo a mesa inferior. Contudo, medições efetuadas por REEMS-NYDER e DEMO⁵⁵ constataram a existência de pequenas folgas da ordem de 0,125 a 0,635mm, que em presença de cargas excêntricas introduzem uma torção local que resulta na flexão transversal da alma na região entre os recortes dos enrijecedores logo abaixo da mesa superior. Ainda nesta área, o emprego de recortes curtos, suficiente para evitar a interferência com as soldas da mesa com alma, possibilitou a formação de entalhes nestas soldas devido a proximidade do término da solda do enrijecedor com a alma. Finalmente, nesta região dos recortes ocorria uma superposição das tensões locais com as tensões de tração perpendiculares às fissuras provenientes da retração das soldas. Esta região, por apresentar entalhes e grandes concentrações de tensões de diversas naturezas, era altamente propícia à formação de fissuras. As pesquisas efetuadas por REEMS⁵⁵NYDER e DEMO²⁰ e DEMO e FISCHER concluíram que poderia se obter um detalhe com maior resistência a fadiga ligando-se a extremidade superior a face inferior da mesa sob o trilho por soldas de penetração total e aumentando-se para 5 a 6tw (tw = espessura da alma) a profundidade do recorte a fim de se evitar os efeitos perniciosos das soldas do enrijecedor com a alma sobre as de ligação da alma com a mesa. (Fig.25)

2.4.2.2 - Enrijecedores parciais e longitudinais

Quando for necessário aumentar a resistência às solici

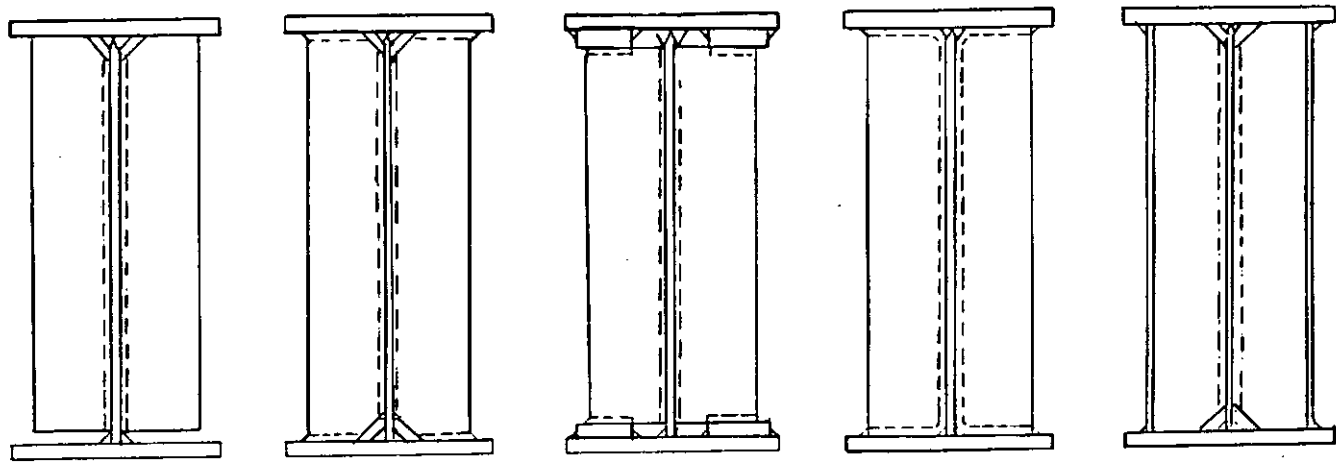


Figura 23

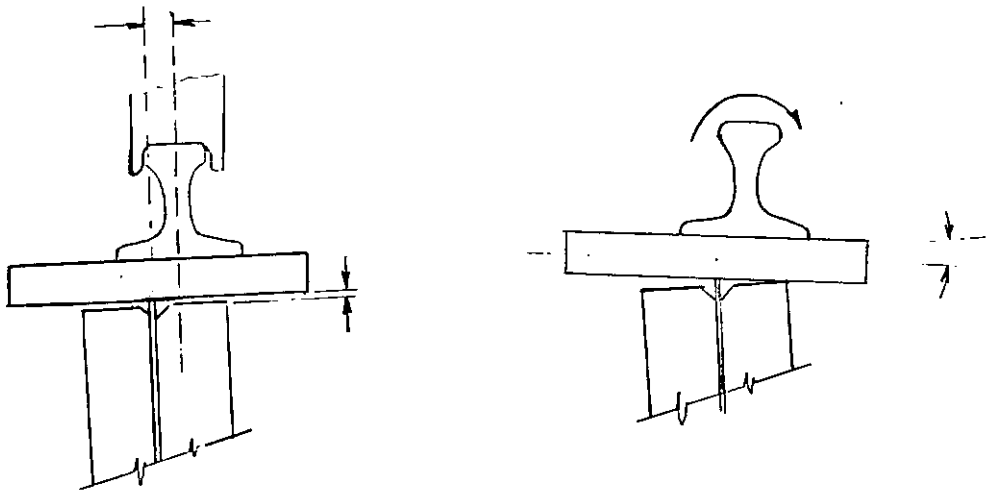


Figura 24

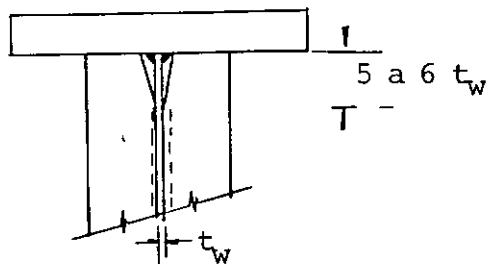


Figura 25

tações locais (torção, flexão transversal e longitudinal) na mesa superior entre dois enrijecedores principais consecutivos e ao mesmo tempo dar uma maior resistência a flambagem lateral por torção, colocam-se enrijecedores longitudinais na mesa superior. Na Fig. 26 estão representadas algumas disposições possíveis para os mesmos. Estes poderão ser formados por chapas ou cantoneiras.

Embora este sistema propicie uma maior resistência às solicitações locais, os seus méritos são afetados em parte pelas dificuldades de execução com relação as posições de soldagem e as deformações devidas a retração que podem acarretar riscos de fissuração por fadiga.

Um outro recurso recomendado é o de se conjugar enrijecedores curtos com enrijecedores longitudinais segundo o terço superior da alma. (Fig.27). Quando uma roda se acha diretamente sobre um enrijecedor parcial,este tende a girar sob a ação do momento torsor local e sua base exerce um esforço transversal sobre o enrijecedor horizontal que o transmite aos enrijecedores verticais principais. Uma outra vantagem desta disposição construtiva é reduzir sensivelmente os riscos de flambagem da alma sob as tensões de flexão geral e pressão local.

2.4.3 - Viga Horizontal Superior

Destina-se a transmitir para os apoios as ações hori-

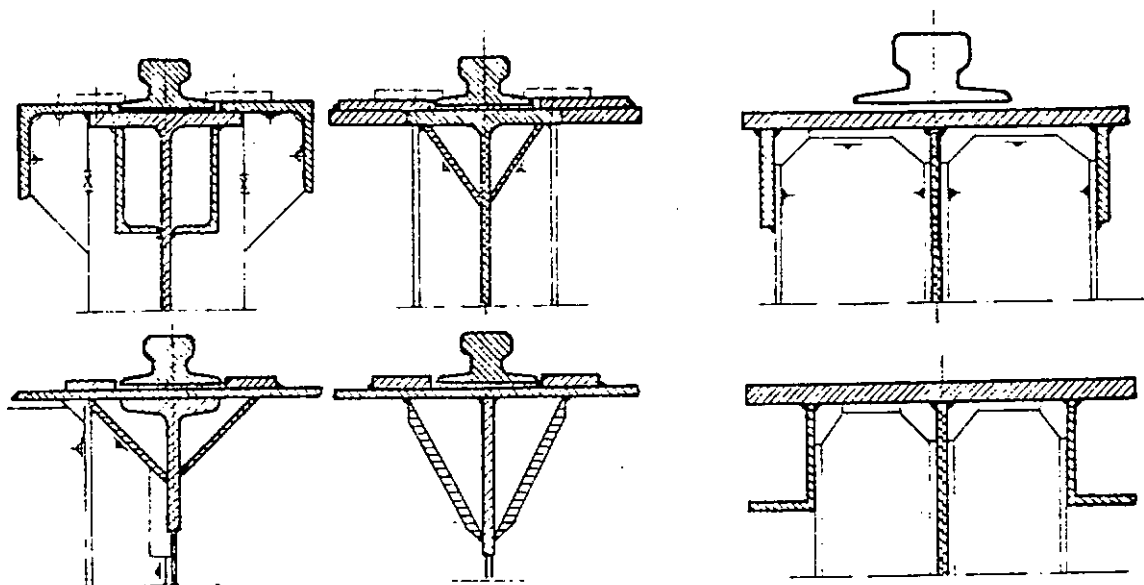


Figura 26

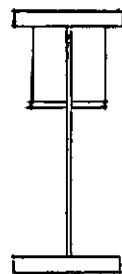
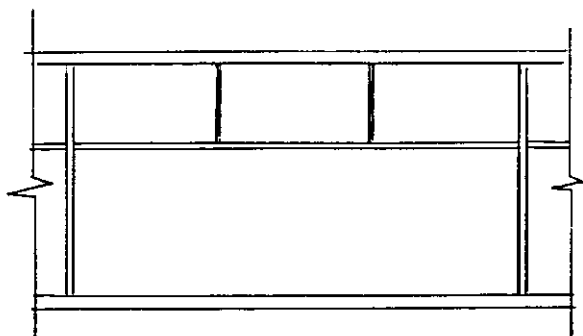


Figura 27

zontais transversais das pontes rolantes e também de se opor ao deslocamento lateral da viga de rolamento que resultaria da flambagem lateral por torção da sua mesa superior. Por estas duas razões coloca-se uma viga horizontal no plano da mesa superior da viga de rolamento.

A largura da viga horizontal depende da seção transversal do prédio e das dimensões mínimas de segurança para trânsito do pessoal de manutenção sem interferir com o movimento da ponte. Por outro lado deve-se evitar uma flexibilidade exagerada da mesma, embora tenha a vantagem de melhor amortecer os efeitos dinâmicos horizontais, pois corre-se o risco de surgir inconvenientes quanto a circulação da ponte. Por esta razão, limita-se a relação flecha máxima/vão desta viga em $1/800$ a $1/1000$.

Esta viga pode ser em treliça ou de alma cheia.

2.4.3.1 - Viga horizontal em alma cheia

Esta disposição somente é conveniente quando se tem uma largura reduzida. A alma é normalmente colocada no plano da mesa superior da viga de rolamento de forma a se situar o mais próximo possível do nível onde se exercem as ações transversais da ponte.

Utiliza-se correntemente esta alma como passarela de visita. Assim sendo, evita-se usar chapas delgadas que no caso de deterioração implicaria em troca com correspondente interrupção

do serviço da ponte. Para fins de segurança coloca-se sobre a alma uma chapa xadrez que serve também para protegê-la.

A alma é aparafusada seja diretamente à mesa superior da viga de rolamento ou a uma chapa de ligação de pequena espessura soldada a mesa. Os enrijecedores da viga horizontal são colocados em correspondência aos da viga de rolamento e interrompidos a uma certa distância da extremidade da alma. Nestas condições, obtem-se uma ligação bastante flexível para que se tornem desprezíveis as tensões de flexão devido a torção da via de rolamento. Pode-se então considerar a ligação entre as duas vigas como uma articulação e que elas suportem, independentemente, uma as ações horizontais e a outra as ações verticais.

2.4.3.2 - Viga horizontal em treliça

Esta solução é empregada quando as ações horizontais da ponte rolante e o vão da via de rolamento levam a uma viga horizontal de grande largura.

Para se evitar as tensões complementares bastante desfavoráveis devido as excentricidades dos esforços recomenda-se o emprego de barras de seção simétrica e ligações de extremidade simétricas.

Os nós da treliça devem ser colocados junto aos enrijecedores verticais da viga de rolamento.

2.4.4 - Viga Vertical Auxiliar

Sua finalidade é de suportar a mesa externa da viga horizontal superior e transmitir aos apoios as cargas da passarela de visita.

A viga auxiliar, por não estar diretamente sujeita às ações da ponte rolante e sendo pouco solicitada, geralmente é feita em treliça de mesma altura que a viga de rolamento para economizar peso e simplificar a execução. Nesta viga, não há necessidade de se adotar seções e ligações simétricas.

2.4.5 - Viga Horizontal Inferior

Esta viga liga a mesa inferior da viga de rolamento à corda inferior da viga vertical auxiliar. Suporta somente a flexão horizontal que resulta do momento de torção global da via de rolamento. Sendo pouco solicitada é projetada em treliça e, tal como a viga vertical auxiliar, não há necessidade de adotar seções e ligações simétricas.

A norma AISE #13⁴ recomenda a sua utilização para vãos maiores de 12m em edifícios siderúrgicos.

2.4.6 - Diafragmas Transversais

Quando a via de rolamento compreende duas vigas verticais e duas vigas horizontais colocam-se sempre diafragmas junto aos apoios. Nos intervalos dos apoios, a colocação irá depender do sistema estrutural usado no projeto.

Nas configurações tipo quadro deslocável não são usados diafragmas intermediários uma vez que sua introdução provoca deformações na viga auxiliar resultante das diferenças de rigidez, em relação a flexão vertical, entre a viga de rolamento e a auxiliar.

Nas configurações tipo quadro rígido eles são colocados junto aos enrijecedores principais da viga de rolamento. Estes poderão ser diafragmas plenos ou em diagonais cruzadas. Estes contraventamentos deverão ter uma resistência suficiente para assegurar a indeformabilidade da seção transversal do caixão e conseqüentemente, a distribuição entre as quatro vigas das ações verticais e horizontais da ponte rolante.

Nestas condições, a ligação do caixão deve ser calculada corretamente a torção a fim de se evitar as fissurações que podem resultar de uma redistribuição parcial dos esforços pelos contraventamentos transversais.

III. REVISÃO DA LITERATURA SOBRE O TEMA

Um levantamento da literatura disponível sobre as tensões locais e seus efeitos, permitiu-nos concluir de antemão que, embora as concepções de via de rolamento possuam diferenças de uma nação para outra, as fissuras de fadiga resultante das tensões locais fizeram-se presentes de modo generalizado e quase que concomitante em todos os países europeus, independente do método de cálculo ou processo de fabricação. Nos Estados Unidos esta constatação foi mais recente, porém não menos desastrosa.

Ainda com base nesta pesquisa bibliográfica, pôde-se afirmar, pela inevitabilidade destas tensões, que ao projetista resta adotar por um lado detalhes construtivos que minimizem seus efeitos e, por outro lado, métodos de cálculo que possibilitem a sua determinação com uma maior precisão.

No que se refere aos detalhes construtivos, já tivemos a oportunidade de sintetizar no item 2.4 os resultados das pesquisas efetuadas por diversos autores e que se acham relacionados na Bibliografia em anexo.

Quanto aos métodos de cálculo, podemos dividir os mesmos em duas categorias: na primeira, eram analisados os efeitos devidos a reação vertical de roda centrada sobre o sistema trilho-mesa apenas e na segunda os efeitos resultantes do momento torsor local.

3.1 - Efeito produzido pela reação vertical da roda centrada sobre o sistema trilho-mesa superior

A princípio, estes efeitos são fortemente influenciados tanto pela natureza como pela essência dos diferentes mecanismos de interação que se podem produzir entre os elementos envolvidos na difusão da carga dependendo das condições de vínculo a que estão sujeitas. Tais condições, por sua vez, acarretam dificuldades de interpretação pela casualidade e a variabilidade dos fatores que as influenciam, como por exemplo, os defeitos relativos à fabricação e à montagem.

Um dos aspectos mais significativos do problema é a irregularidade marcante das condições de contato e as considerações teóricas adotadas em que se admite o trilho como uma viga sobre base elástica.

Em particular, os estudos examinaram a difusão da reação centrada para os casos em que as condições de contato entre o trilho e a mesa superior podem ser assimilados a:

- a - um apoio superficial contínuo e uniforme;
- b - um apoio linear longitudinalmente contínuo e centrado em relação a alma da viga;
- c - um apoio linear transversalmente contínuo;
- d - um apoio linear longitudinalmente contínuo ao longo de duas retas correspondentes a extremidade do patim.

Fica patente aqui que somente em certas situações raras, é possível enquadrar com clareza o caso específico no âmbito das hipóteses mencionadas acima. Assim sendo, toda vez que o contato entre o trilho e a mesa superior se fizer com interposição de placa de elastômero é possível classificar-se na primeira categoria de transmissão e, da mesma forma, quando o trilho for fixado à mesa superior por meio de soldas de filete contínuas pode-se enquadrá-lo ao último tipo.

Já o caso mais freqüente do trilho apoiado diretamente sobre a mesa e fixado por meio de grapas não é susceptível de uma interpretação única e constante para toda a extensão da viga de rolamento, uma vez que o trilho pode apresentar um abaulamento característico na base resultante da laminação e a mesa, por sua vez, geralmente possui uma distorção transversal provocada pela retração das soldas de ligação da mesa com a alma.

Estes fenômenos, contudo, estão freqüentemente localizados somente em determinados trechos ao longo de toda a extensão da viga de rolamento, intervindo localmente no mecanismo de transmissão da carga. Para certos trechos, o trilho poderá estar na condição de contato (d) que acarreta necessariamente uma flexão transversal da mesa e para outros trechos, na condição (b) onde será determinante a flexão longitudinal do sistema do trilho mesa-alma. Se tivermos a condição (c), a flexão longitudinal irá comprometer muito mais a mesa e a alma.

Um dos trabalhos mais completos sobre as tensões lo-

cais despertadas pela reação vertical da roda centrada sobre o sistema trilho-mesa superior deve-se a SENIOR e GURNEY.⁵⁸ Para a condição de contato (c) estes autores consideraram o estudo de⁵⁴ PARKES sobre uma chapa semi-infinita de bordo enrijecido por um flange e sujeita a uma carga concentrada e a seguir consideraram a condição (b) empregando o trabalho de BIOT¹² para viga sobre e-lástica. Os valores do momento fletor longitudinal da mesa para as duas situações diferiam de 5%.

Para a condição de contato (c) RIEVE⁵⁶ chegou a expressões análogas a de PARKES⁵⁴ e que vieram a ser comprovados experimentalmente por STEINHARDT⁶⁰ e SCHULZ.

Devem ser mencionados ainda os trabalhos devidos a GIRK³⁰,⁶ MANN, ASMIS⁶⁴ e VÖGELE.

3.2 - Efeito produzido pelo momento torsor local

No item precedente, pôde-se constatar que o mecanismo de transmissão da carga vertical da roda de translação da ponte do trilho para a mesa superior da viga de rolamento é passível de uma formulação relativamente simples.

O mesmo não ocorre quanto aos efeitos produzidos pela torção local. A determinação da distribuição de pressões exercidas pelo patim do trilho em função desta solicitação recai num problema de interação relativamente complexo entre o trilho, a mesa superior e a alma, sem mencionarmos a dificuldade inicial que

se tem na definição do momento torsor a ser aplicado.

Esta se deve à incerteza das variáveis em jogo tais como, por exemplo: a) reações da roda; b) posições relativas entre os planos da roda, do trilho, da mesa superior e da alma; c) das condições de desgaste do material rodante e do trilho; d) das vinculações entre o trilho e a mesa superior, etc. Estes fatores já são suficientes para se ter uma idéia do caráter aleatório dos parâmetros envolvidos.

Partindo-se da premissa que estes valores tenham sido fixados, o próximo passo seria o da determinação da distribuição de pressões sobre a mesa superior da viga de rolamento.

Quanto ao mecanismo de transferência de cargas do trilho para a mesa superior poderão surgir as seguintes possibilidades.

a) por contato:

Quando o plano de atuação das cargas situa-se afastado de qualquer dispositivo de fixação ativo e os limites de estabilidade do trilho não forem ultrapassados. Denomina-se por fixação ativa aquela que não necessita de um deslocamento inicial do trilho para se tornar operante.

b) por contato e ativação dos dispositivos de fixação:

Quando o plano de atuação das cargas coincidir com uma

seção onde haja um dispositivo de fixação ativo ou, no caso anterior, quando forem ultrapassados os limites de estabilidade.

A determinação do limite de estabilidade lateral não admite uma formulação simples como aquela proposta por MAREK e DANIELS⁴⁵, em analogia à empregada em estruturas de arrimo, em função da geometria da seção transversal do trilho e das linhas de ação das cargas, devido a presença de cargas concentradas e vinculações discretas de difícil representação física. Do exposto acima, pode-se afirmar que a distribuição deste momento torsor, tanto longitudinal como transversal, não pode ser determinado simplesmente com base em considerações puramente teóricas.

Face a esta dificuldade de interpretação, a grande maioria dos autores admite o momento torsor como concentrado sobre o sistema mesa-superior-alma, garantindo-se assim que os resultados obtidos serão os limites superiores para esta solicitação.

Uma vez feita esta exposição quanto à complexidade do problema, convém fazermos uma retrospectiva dos principais trabalhos sobre o assunto.

58

SENIOR e GURNEY analisaram os efeitos resultantes de um momento torsor concentrado, agindo sobre o sistema mesa superior-alma, no centro do painel da alma, provocando um estado de solicitação por flexão transversal da alma e torção pura da mesa superior.

38

LORINGHOVEN examinou em particular o estado de torção não uniforme da mesa superior da viga de rolamento, admitindo-se a ligação entre a mesa e alma como uma rótula cilíndrica.

BASILE⁷ propôs o emprego de uma formulação simplificada que, contudo, em primeira aproximação, interpreta a complexidade dos vínculos internos da estrutura e cujos resultados foram comprovados experimentalmente.

28

FOUCRIAT analisou o comportamento de mesas superiores das vigas de rolamento para a situação em que as mesmas possuíam uma rigidez ao empenamento desprezível e para as de mesa superior enrijecida. Considerou-se a mesa superior, sujeita a um trem-tipo de momentos torsores concentrados como uma viga contínua de apoios uniformemente espaçados, caracterizados pelas restrições às rotações por torção impostas pelos enrijecedores verticais e vinculadas elasticamente ao longo dos vãos pela restrição à rotação imposta pela rigidez da alma a flexão transversal. Com base neste estudo comparativo, concluiu-se que para o primeiro caso, a análise feita para um vão isolado (um painel) é satisfatória, o mesmo não ocorrendo para o segundo caso.

Não podemos deixar de citar também os trabalhos devidos a OXFORT^{52, 53} e a NASCE⁵⁰ e ZORGNO.

IV. PROPOSIÇÃO DE DETERMINAÇÃO DAS TENSÕES LOCAIS PELA TEORIA DAS ESTRUTURAS PRISMÁTICAS LAMINARES

Ao se desenvolver este tema, buscávamos uma solução que fosse original e que não incorresse nas mesmas deficiências dos demais métodos analíticos desenvolvidos até a presente data. As principais deficiências destes referem-se ao seu caráter particular restrito a certos tipos de seções transversais em que se faz o estudo em separado das solicitações devido a carga centrada e ao momento torsor local.

A princípio, poderíamos julgar que o método dos elementos finitos poderia ser a resposta final para este tipo de problema. Contudo, se levarmos em conta os custos decorrentes de um refinamento da malha junto aos pontos de atuação da carga concentrada e o fato de a grande maioria dos projetistas não estar familiarizados com esta solução, optou-se pelo estudo segundo a teoria das estruturas prismáticas laminadas.

Este método de análise utiliza totalmente as vantagens das eficiências dos computadores digitais. São irrelevantes para efeito desta análise a complexidade da seção transversal bem como as relações entre as dimensões da seção transversal e o vão, uma vez que não está fundamentado nos princípios elementares da teoria de flexão de vigas e sim na teoria da elasticidade para o estado plano de tensões e na teoria de flexão de placas.

Dentro do escopo das hipóteses da teoria da elasticida

de, a teoria das estruturas prismáticas laminares representa um método exato, pois considera a estrutura na sua forma real com uma montagem de elementos retangulares formando juntos um sistema espacial real. Portanto, para este tipo de análise não se faz distinção entre as seções abertas, fechadas ou multi-celulares e, da mesma forma, quanto aos tipos de tensões (flexão, cisalhamento e torção).

O carregamento da estrutura pode ser bem geral (cargas horizontais, verticais e longitudinais arbitrariamente distribuídas em qualquer superfície ou junta, cargas concentradas, etc.), e a única restrição refere-se aos carregamentos longitudinais em que a resultante de todas as cargas longitudinais deve ser nula. Porém, para o caso específico de vigas de rolamento, estes não são críticos.

São admitidos, também, elementos com propriedades físicas distintas que ocorrem em presença de vigas híbridas ou vigas de rolamento com base de elastômero sob o trilho ou ainda quando se simula o comportamento ortotrópico devido a nervuras transversais densamente espaçadas que aumentam a resistência a flexão transversal da seção, dada pelo comportamento de placa do elemento sem contribuir, contudo, para se aumentar a rigidez no sentido longitudinal determinado pelo comportamento de chapa.

V - CONCEITUAÇÃO GERAL DAS ESTRUTURAS LAMINARES

As estruturas laminares podem ser definidas como estruturas de superfície geradas a partir de superfícies planas ou lâminas grupadas para constituir uma superfície poliédrica. A combinação destas lâminas podem dar origem a diferentes formas, desde as estruturas de silos, que foram as primeiras a ser analisadas como tal, até as mais complexas obtidas pela simulação de cascas esféricas, cilíndricas ou cônicas.

Dentro do universo das estruturas laminares, destacaremos as estruturas prismáticas laminares caracterizadas pela associação de lâminas de tal forma que a seção transversal se mantém constante ao longo do comprimento. De acordo com o número de apoios no sentido transversal e longitudinal, elas poderão ser classificadas, respectivamente, de naves simples ou múltiplas e de vãos simples ou contínuos. Ainda com relação aos apoios, estes poderão ser discretos ou contínuos.

Quanto à forma da seção transversal as estruturas prismáticas laminares, quando numa junta da estrutura concorrem mais de duas lâminas, são chamadas de multi-laminares.

Dado a esta diversificação de formas e condições de apoio, houve uma grande proliferação de métodos de cálculo que foram grupados por IFFLAND³⁴ em diferentes categorias, servindo como uma boa fonte de referência.

Uma vez feito este ligeiro apanhado, poderemos enquadrar as vias de rolamento tipo quadro deslocável em estruturas prismáticas simples multi-laminares e para fins de determinação das tensões locais, estas serão providas de apoios longitudinais contínuos para inibir os demais efeitos.

Quanto aos trabalhos que serviram de subsídio para o desenvolvimento do programa, destacaremos o de GOLDBERG e LEVE -³¹ (1957), DEFRIES-SKENE e SCORDELLIS¹⁹ (1964) e CHU e DUDNIK¹⁵ (1969). E ainda os disponíveis em nossa literatura técnica, devidos a BEVILACQUA⁹ (1965), SILVA⁵⁹ (1969), DIAZ²¹ (1969) e CASTRILLÓN¹⁴ (1970).

VI - FUNDAMENTOS TEÓRICOS DO MÉTODO PROPOSTO

6.1 - INTRODUÇÃO

O problema a ser resolvido consiste na determinação dos esforços internos e deslocamentos num sistema estrutural constituído de um arranjo longitudinal de elementos interligados nas juntas ao longo de suas bordas longitudinais e suportados por diafragmas transversais. Os parâmetros prescritos de entrada do problema incluem a geometria, as dimensões e características dos materiais dos elementos, cargas aplicadas nos elementos e nas juntas e, por fim, as condições de contorno ao longo das juntas longitudinais.

Hipóteses básicas

Na análise que se segue, partiremos das seguintes hipóteses básicas:

1. a relação entre as forças e os deslocamentos é linear sendo válido, portanto, o princípio da superposição;
2. a seção transversal é constante no sentido longitudinal e os elementos constituintes da mesma são de espessura uniforme;
3. os diafragmas de extremidade são normais ao eixo da viga e considerados infinitamente rígidos no seu próprio plano e perfeitamente flexíveis na direção

normal da mesma. Não existem diafragmas intermediários.

Uma vez informada a tipologia da estrutura e respeitadas as hipóteses básicas formuladas acima, o próximo passo será o de representar cada ação aplicada por séries de Fourier. Teoricamente, seria necessário um número infinito de termos para descrevê-la, porém, na prática, é desprezível o efeito dos harmônicos de ordem superior. O programa de computador descrito a seguir considera os harmônicos até a 10a. ordem e pode-se ver, a partir dos exemplos, a rápida convergência com a utilização de poucos harmônicos.

A estrutura é analisada sob o efeito de todas as componentes da série de Fourier de mesma ordem segundo o procedimento matricial que será descrito mais adiante. A análise para cada harmônico tem a vantagem de as cargas produzirem deslocamentos de mesma lei de variação e vice-versa e, assim sendo, pode-se usar um único valor característico para descrever qualquer configuração de ação ou deslocamento.

Para cada harmônico dos carregamentos aplicados, podemos construir as matrizes de rigidez do elemento e, levando-se em conta a disposição dos mesmos na estrutura, monta-se a matriz de rigidez global correspondente.

Mediante a solução do sistema de equações formado

pode-se obter para cada direção de deslocamento das juntas um termo da série de Fourier que dará o deslocamento nesta direção.

Uma vez obtidas as respostas da estrutura para cada harmônico, o resultado final é obtido por superposição, somando-se diretamente as soluções dadas para os diferentes harmônicos.

No desenvolvimento teórico dado a seguir, sempre que possível omitiremos a introdução de um índice característico de ordem do harmônico, visando a não sobrecarregar desnecessariamente a notação adotada. Na exposição adiante, segue-se a marcha de cálculo a ser efetuada para cada um dos termos da série de Fourier .

6.2 - SISTEMAS DE COORDENADAS

Para cada junta ou ponto nodal hã quatro graus de liberdade: ela pode se deslocar, tanto verticalmente como horizontalmente, segundo um plano paralelo aos diafragmas de extremidade, pode se mover também longitudinalmente paralela à junta e pode girar em relação a um eixo paralelo à junta. Estas direções definem um sistema global de coordenadas para deslocamentos e ações nas juntas (Fig.28 e 29).

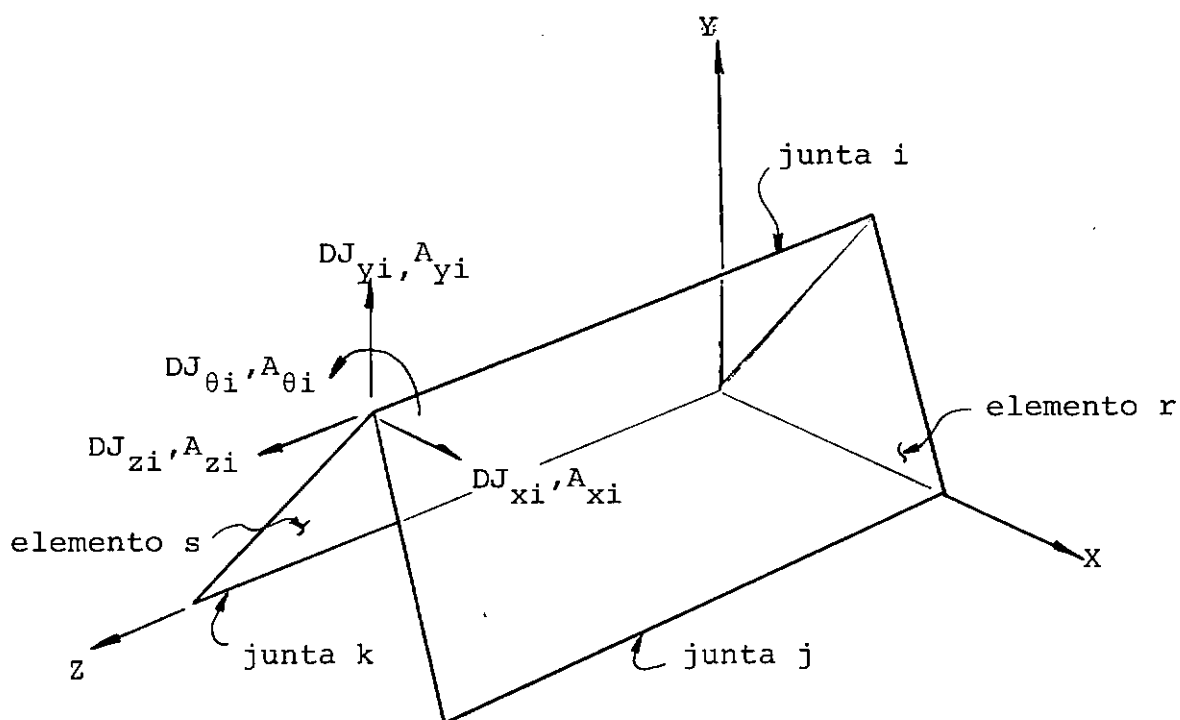
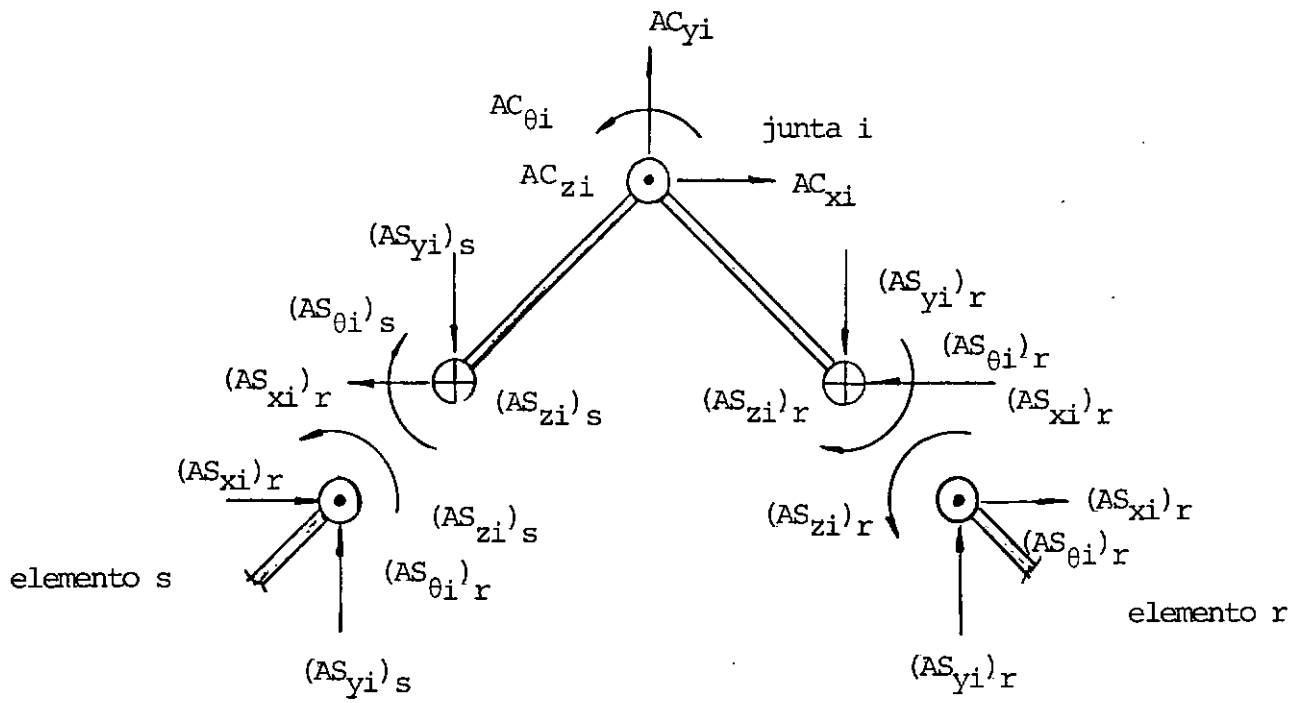
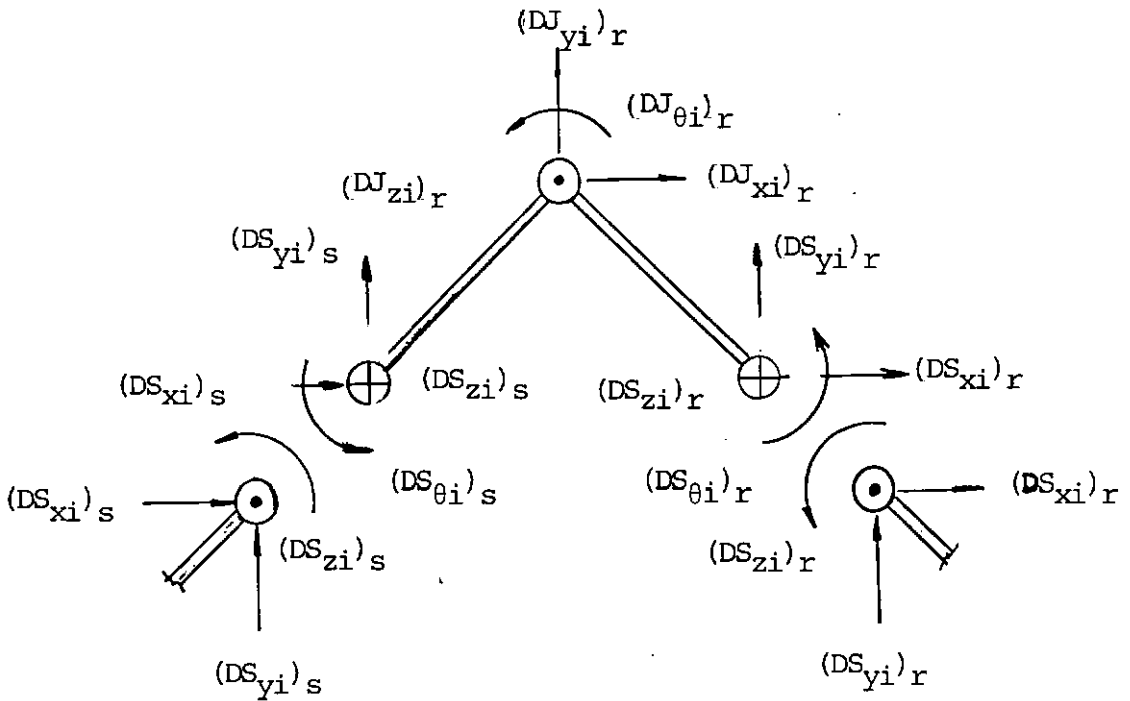


Figura 28 - Sistema global de coordenadas



(a) Ações



(b) Deslocamentos

Figura 29 - Ações e deslocamentos nas juntas e nos elementos no sistema global.

Devido a dificuldade de se analisar um elemento numa posição arbitrária diretamente sob as ações e deslocamentos referidos ao sistema global, introduziremos um novo sistema de coordenadas chamado de sistema local de coordenadas (Fig. 30)

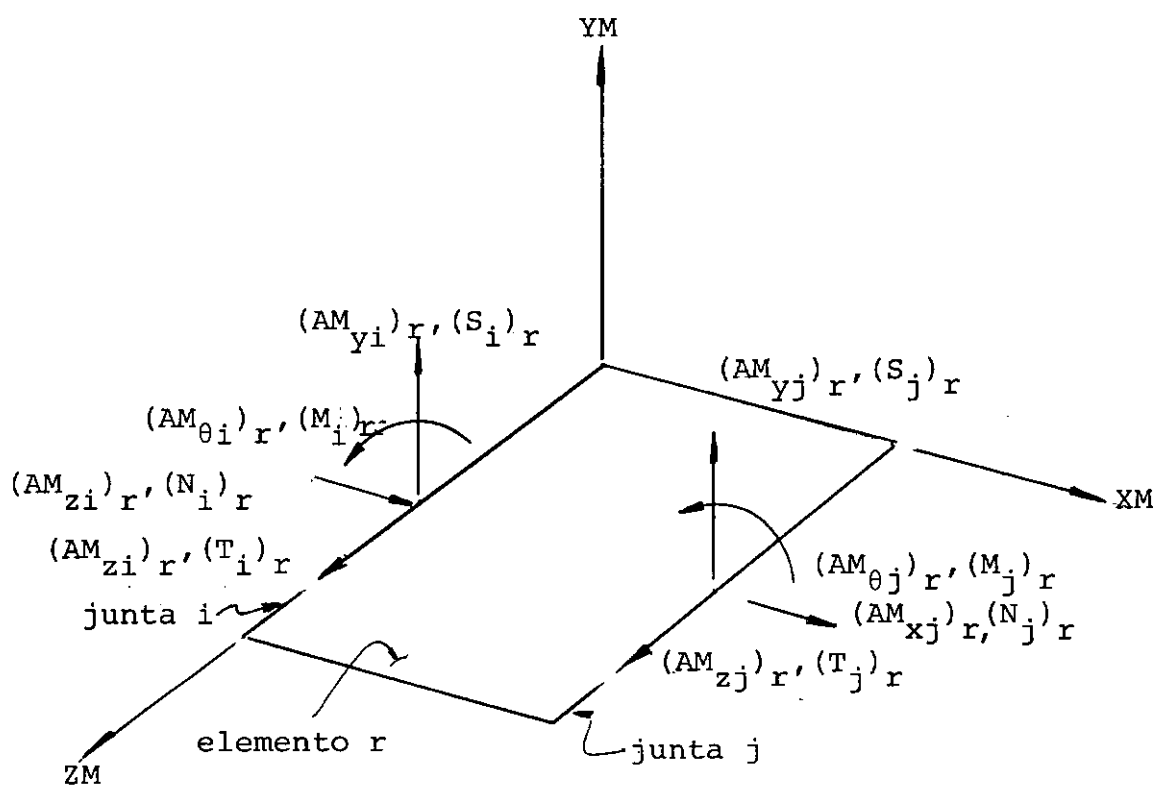


Fig. 30 - Ações nos elementos no sistema local.

6.3 - TRANSFORMAÇÃO DO SISTEMA DE COORDENADAS

As ações e deslocamentos numa junta i , orientados com os eixos do elemento, podem ser transformados em ações e deslocamentos referidos aos eixos da estrutura e vice-versa, através de uma transformação adequada dos eixos.

Seja γ o ângulo formado pelos eixos XM - YM , orientados com o elemento, com os eixos X - Y , paralelos ao eixo da estrutura (Fig.31).

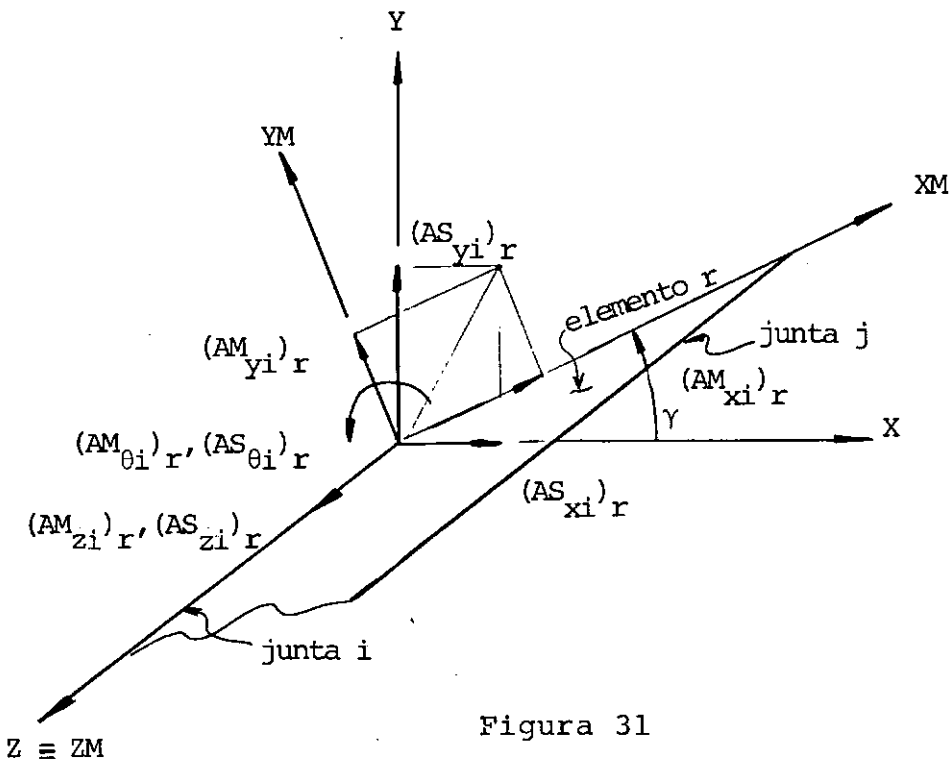


Figura 31

As componentes $(AM_{xi})_r$, $(AM_{yi})_r$, $(AM_{zi})_r$ e $(AM_{\theta i})_r$ de uma ação qualquer $\{A_i\}_r$, em relação aos eixos XM , YM e ZM podem ser expressas em função das componentes $(AS_{xi})_r$, $(AS_{yi})_r$, $(AS_{zi})_r$ e $(AS_{\theta i})_r$ da mesma ação $\{A_i\}_r$, em relação aos eixos da estrutura

XYZ, considerando-se as projeções. Como os eixos ZM de todos os elementos são paralelos ao eixo Z da estrutura, tem-se: $(AM_{zi})_r = (AS_{zi})_r$ e $(AM_{\theta i})_r = (AS_{\theta i})_r$.

Assim sendo:

$$\begin{Bmatrix} AM_{zi} \\ AM_{yi} \\ AM_{zi} \\ AM_{\theta i} \end{Bmatrix}_r = \begin{bmatrix} CX & CY & 0 & 0 \\ -CY & CX & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}_r \begin{Bmatrix} AS_{xi} \\ AS_{yi} \\ AS_{zi} \\ AS_{\theta i} \end{Bmatrix}_r \quad (1)$$

onde: $CX = \cos \gamma$ e $CY = \sin \gamma$

Abreviadamente, tem-se para a Eq.(1):

$$\{AM_i\}_r = [R]_r \{AS_i\}_r \quad (2)$$

A matriz $[R]_r$ cujos coeficientes são os cossenos diretores dos eixos XM, YM e ZM em relação aos eixos X, Y e Z é chamada de matriz de rotação. É uma matriz ortogonal, isto é, $[R]_r^T = [R]_r^{-1}$.

Desta forma:

$$\{AS_i\}_r = [R]_r^T \{AM_i\}_r \quad (3)$$

Analogamente para os deslocamentos, teremos:

$$\{DM_i\}_r = [R]_r \{DS_i\}_r \quad (4)$$

$$\{DS_i\}_r = [R]_r^T \{DM_i\}_r \quad (5)$$

Generalizando para as ações nos bordos i e j do elemento r teremos:

$$\{AM\}_r = \begin{Bmatrix} AM_i \\ \hline AM_j \end{Bmatrix}_r = \begin{bmatrix} R & | & 0 \\ \hline 0 & | & R \end{bmatrix}_r \begin{Bmatrix} AS_i \\ \hline AS_j \end{Bmatrix}_r \quad (6)$$

ou

$$\{AM\}_r = [R_T]_r \{AS\}_r \quad (7)$$

onde $[R_T]$ é chamada de Matriz de Rotação Transformada que é também uma matriz ortogonal, isto é: $[R_T]^{-1} = [R_T]^T$

Analogamente para os deslocamentos:

$$\{DM\}_r = [R_T]_r \{DS\}_r \quad (8)$$

Finalmente:

$$\{AS\}_r = [R_T]_r^T \{AM\}_r \quad (9)$$

$$\{DS\}_r = [R_T]_r^T \{DM\}_r \quad (10)$$

6.4 - ANÁLISE HARMÔNICA DE AÇÕES E DESLOCAMENTOS

Para uma estrutura que satisfaça as hipóteses básicas formuladas no início deste capítulo, as configurações genéricas das ações e deslocamentos aplicados numa junta podem ser perfeitamente expressas pelo desenvolvimento em séries de Fourier :

$$A(z) = \sum_{n=0}^{\infty} a_n \cos \frac{n\pi z}{L} + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \sin \frac{n\pi z}{L}$$

$$D(z) = \sum_{n=0}^{\infty} c_n \cos \frac{n\pi z}{L} + \sum_{n=1}^{\infty} d_n \sin \frac{n\pi z}{L}$$

onde os termos a_0 e c_0 estão incluídos na série de cosenos.

As condições de contorno impostas pelos diafragmas de extremidade implicam que os deslocamentos normais ao eixo longitudinal sejam nulos, uma vez que estes são considerados infinitamente rígidos no seu próprio plano e indeslocáveis; resulta daí que os desenvolvimentos em séries de Fourier para os deslocamentos D_x e D_y e as rotações D_θ nas juntas, bem como as ações A_x , A_y e A_θ não terão termos em coseno.

Generalizando, todas as ações e deslocamentos que não sejam relativos a direção z serão expressos em série de senos.

Assim:

$$A_x = \sum_{n=1}^{\infty} A_{nx} \sin \frac{n\pi z}{L}$$

$$A_y = \sum_{n=1}^{\infty} A_{ny} \quad \text{sen} \quad \frac{n\pi z}{L}$$

$$A_{\theta} = \sum_{n=1}^{\infty} A_{n\theta} \quad \text{sen} \quad \frac{n\pi z}{L}$$

Analogamente, para as ações AM_x , AM_y , AM_{θ} , AS_x , AS_y , AS_{θ} e para os deslocamentos DJ_x , DJ_y , DJ_{θ} , DM_x , DM_y , DM_{θ} , DS_x , DS_y e DS_{θ} .

Os diafragmas de extremidade, por serem perfeitamente flexíveis na direção normal ao seu próprio plano, são incapazes de dar reações longitudinais. Por esta razão, as expressões para as ações nas juntas distribuídas longitudinalmente não podem conter termos em seno e da mesma forma os deslocamentos correspondentes. Assim sendo, os desenvolvimentos em séries de Fourier para ações e deslocamentos relativos a direção z são expressos em séries de cossenos:

$$A_z = \sum_{n=1}^{\infty} A_{nz} \quad \text{cos} \quad \frac{n\pi z}{L}$$

Analogamente, para as ações AS_z e AM_z e para os deslocamentos DJ_z , DM_z e DS_z .

As ações e deslocamentos na direção z tornam-se máximos em $z = 0$ e $z = L$. Se n consiste somente de termos ímpares, estas ações e deslocamentos máximos serão de sinais opostos.

Por exemplo:

$$DJ_z = + \sum_{n=1,3,5} DJ_{nz} \quad \text{em } z = 0$$

$$DJ_z = - \sum_{n=1,3,5} DJ_{nz} \quad \text{em } z = L$$

Uma vez que os deslocamentos são iguais e de sinais opostos nas duas extremidades do elemento, para o primeiro harmônico, estes produzirão tensões de tração no bordo em questão se $\sum DJ_{nz}$ for negativo e tensões de compressão de $\sum DJ_{nz}$ for positivo.

Se n consistir somente de termos pares, as ações e deslocamentos na direção z em z=0 e z=L se tornarão idênticos. Por exemplo, tanto para z=0 e z=L:

$$DJ_z = + \sum_{n=2,4} DJ_{nz}$$

Neste caso, produz-se um deslocamento de corpo rígido de $\sum_{n=2,4} DJ_{nz}$.

Nos parágrafos que se seguem as equações são escritas para cada termo relacionado a série de senos ou cossenos. Uma vez que $\sin \frac{n\pi z}{L}$ e $\cos \frac{n\pi z}{L}$ serão finalmente cancelados em todas as equações, nas equações daqui para frente serão apresentadas somente em termos de amplitudes dos harmônicos.

Isto torna possível tratar uma junta inteira como um simples ponto nodal e operar simplesmente com forças e deslocamentos ao invés de funções. Se as condições de equilíbrio estático e compatibilidade geométrica forem mantidas para um ponto nodal, elas automaticamente estarão satisfeitas ao longo de toda a junta longitudinal.

Assim sendo, o problema envolvendo uma estrutura prismática laminar pode ser tratado basicamente como um problema unidimensional na direção transversal.

6.5 - MATRIZ DE RIGIDEZ DO ELEMENTO

As relações entre as ações e deslocamentos nos bordos do elemento são feitas através da matriz de rigidez do elemento referida ao sistema local.

$$\{AM\}_r = [SM]_r \{DM\}_r \quad (11)$$

Ou na sua forma expandida:

$$\begin{Bmatrix} AM_1 \\ AM_2 \\ AM_3 \\ AM_4 \\ AM_5 \\ AM_6 \\ AM_7 \\ AM_8 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} SM_{11} & 0 & SM_{13} & 0 & SM_{15} & 0 & SM_{17} & 0 \\ 0 & SM_{22} & 0 & SM_{24} & 0 & SM_{26} & 0 & SM_{28} \\ SM_{31} & 0 & SM_{33} & 0 & SM_{35} & 0 & SM_{37} & 0 \\ 0 & SM_{42} & 0 & SM_{44} & 0 & SM_{46} & 0 & SM_{48} \\ SM_{51} & 0 & SM_{53} & 0 & SM_{55} & 0 & SM_{57} & 0 \\ 0 & SM_{62} & 0 & SM_{64} & 0 & SM_{66} & 0 & SM_{68} \\ SM_{71} & 0 & SM_{73} & 0 & SM_{75} & 0 & SM_{77} & 0 \\ 0 & SM_{82} & 0 & SM_{84} & 0 & SM_{86} & 0 & SM_{88} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} DM_1 \\ DM_2 \\ DM_3 \\ DM_4 \\ DM_5 \\ DM_6 \\ DM_7 \\ DM_8 \end{Bmatrix}$$

As direções indicadas de 1 a 8, correspondem respectivamente, a $x_i, y_i, z_i, \theta_i, x_j, y_j, z_j$ e θ_j .

Os elementos da matriz de rigidez correspondentes ao comportamento de placa, segundo CHU e DUDNIK¹⁵, estão abaixo relacionados:

$$SM_{22} = 2 \left(\frac{\beta}{B}\right)^3 \frac{D}{A} (\text{Ch}\beta \cdot \text{Sh}\beta + \beta) = SM_{66}$$

$$SM_{24} = \left(\frac{\beta}{B}\right)^2 \frac{D}{A} (\text{Sh}^2\beta + \beta^2 + \mu A) = SM_{42} = SM_{68} = SM_{86}$$

$$SM_{26} = -2 \left(\frac{\beta}{B}\right)^3 \frac{D}{A} (\beta \cdot \text{Ch}\beta + \text{Sh}\beta) = SM_{62}$$

$$SM_{28} = 2 \left(\frac{\beta}{B}\right)^2 \frac{D}{A} (\beta \cdot \text{Sh}\beta) = SM_{82} = -SM_{46} = -SM_{64}$$

$$SM_{44} = 2 \left(\frac{\beta}{B}\right) \frac{D}{A} (\text{Sh}\beta \cdot \text{Ch}\beta - \beta) = SM_{88}$$

$$SM_{48} = 2 \left(\frac{\beta}{B}\right) \frac{D}{A} (\beta \text{ Ch}\beta - \text{Sh}\beta) = SM_{84}$$

onde:

$$\beta = \frac{n\pi B}{L}$$

$$D = \frac{E_p h_p^3}{12(1 - \nu_p^2)}$$

$$A = \text{Sh}^2\beta - \beta^2$$

sendo:

L - vão da estrutura

B - comprimento do elemento

E_p - módulo de elasticidade (comp. de placa)

ν_p - coef. de Poisson (" ")

h_p - espessura do elemento (" ")

Os elementos da matriz de rigidez correspondentes ao comportamento de chapa, segundo CHU e DUDNIK¹⁵, estão abaixo relacionados:

$$SM_{11} = -2 \left(\frac{\beta}{B}\right) \frac{D'}{A'} (\beta + \lambda \cdot \text{Sh}\beta \cdot \text{Ch}\beta) = SM_{55}$$

$$SM_{13} = -2 \left(\frac{\beta}{B}\right) \frac{D'}{A'} \left[\lambda \cdot \text{Sh}^2\beta + \left(\frac{1+\nu}{2}\right) A' \right] = SM_{31} = SM_{57} = SM_{75}$$

$$SM_{15} = +2 \left(\frac{\beta}{B} \right) \frac{D'}{A'} (\beta \cdot \text{Ch}\beta + \lambda \cdot \text{Sh}\beta) = SM_{51}$$

$$SM_{17} = -2 \left(\frac{\beta}{B} \right) \frac{D'}{A'} (\beta \cdot \text{Sh}\beta) = SM_{71} = -SM_{35} = -SM_{53}$$

$$SM_{33} = +2 \left(\frac{\beta}{B} \right) \frac{D'}{A'} (\beta - \lambda \cdot \text{Sh}\beta \cdot \text{Ch}\beta) = SM_{77}$$

$$SM_{37} = -2 \left(\frac{\beta}{B} \right) \frac{D'}{A'} (\beta \cdot \text{Ch}\beta - \lambda \cdot \text{Sh}\beta) = SM_{73}$$

onde:

$$\lambda = \frac{3 - \nu_c}{1 + \nu_c}$$

$$D' = \frac{E_c h_c}{(1 + \nu_c)^2}$$

$$A' = \beta^2 - \lambda^2 \text{Sh}^2 \beta$$

sendo:

E_c - módulo de elasticidade (comp. de chapa)

ν_c - coef. de Poisson (" ")

h_c - espessura do elemento (" ")

6.6 - MATRIZ DE RIGIDEZ DO ELEMENTO REFERIDA AO SISTEMA GLOBAL

Combinando as Eqs. (7) e (8) e substituindo na Eq. (9) obteremos uma relação entre as ações e deslocamentos referidos ao sistema global para o elemento r:

$$\{AS\}_r = [R_T]_r^T \{AM\}_r = [R_T]_r^T [SM]_r \{DM\}_r = [R_T]_r^T [SM]_r [R_T]_r \{DS\}_r$$

ou

$$\{AS\}_r = [SMD]_r \{DS\}_r \quad (12)$$

onde:

$$[SMD]_r = [R_T]_r^T [SMR]_r \quad (13)$$

$$[SMR]_r = [SM]_r [R_T]_r \quad (14)$$

Determinação dos Elementos da Matriz $[SMR]_r$:

A eq. (14) pode ser escrita da seguinte forma:

$$\begin{bmatrix} SM_{rii} & SM_{rij} \\ SM_{rji} & SM_{rjj} \end{bmatrix}_r = \begin{bmatrix} SM_{ii} & SM_{ij} \\ SM_{ji} & SM_{jj} \end{bmatrix}_r \begin{bmatrix} R & O \\ O & R \end{bmatrix}_r$$

logo:

$$[SMR_{ii}]_r = [SM_{ii}]_r [R]_r,$$

$$[SMR_{ij}]_r = [SM_{ij}]_r [R]_r$$

$$[SMR_{ji}]_r = [SM_{ji}]_r [R]_r$$

$$[SMR_{jj}]_r = [SM_{jj}]_r [R]_r$$

Para ilustrar a lei da formação desta matriz de rigidez referida ao sistema global consideremos a matriz $[SMR_{ij}]$, cuja primeira linha é a seguinte:

$$SMR_{i1,j1} = SM_{i1,j1} \cdot CX - SM_{i1,j2} \cdot CY$$

$$SMR_{i1,j2} = SM_{i1,j1} \cdot CY + SM_{i1,j2} \cdot CX$$

$$SMR_{i1,j3} = SM_{i1,j3}$$

$$SMR_{i1,j4} = SM_{i1,j4}$$

De modo análogo, poderão ser determinados os demais componentes da matriz $[SMR]$.

Determinação dos Elementos da Matriz $[SMD]_r$

Pela Eq. (13) tem-se:

$$[SMD]_r = \begin{bmatrix} SMD_{ii} & SMD_{ij} \\ SMD_{ji} & SMD_{jj} \end{bmatrix}_r = \begin{bmatrix} R^T & 0 \\ 0 & R^T \end{bmatrix}_r \begin{bmatrix} SMR_{ii} & SMR_{ij} \\ SMR_{ji} & SMR_{jj} \end{bmatrix}_r$$

logo:

$$[SMD_{ii}] = [R]^T [SMR_{ii}]$$

$$[SMD_{ij}] = [R]^T [SMR_{ij}]$$

$$[SMD_{ji}] = [R]^T [SMR_{ji}]$$

$$[SMD_{jj}] = [R]^T [SMR_{jj}]$$

Novamente para ilustrar a lei de formação destas matrizes, consideremos a geração da primeira coluna da matriz $[SMD_{ij}]_r$:

$$SMD_{i1,j1} = CX. SMR_{i1,j1} - CY. SMR_{i2,j1}$$

$$SMD_{i2,j1} = CY. SMR_{i1,j1} + CX. SMR_{i2,j1}$$

$$SMD_{i3,j1} = SMR_{i3,j1}$$

$$SMD_{i4,j1} = SMR_{i4,j1}$$

6.7 - VETORES ASSOCIADOS ÀS CARGAS

No sistema global, as ações atuantes numa junta i são constituídas de duas parcelas:

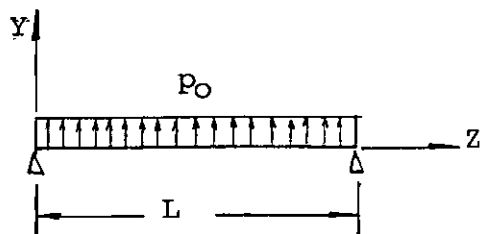
- . as ações externas aplicadas diretamente na junta;
- . a soma das reações das forças de fixação nos bordos dos elementos que concorrem na junta i .

Estas duas parcelas formarão a chamada carga combinada nas juntas.

6.7.1 - Ações Externas Aplicadas Diretamente nas Juntas $\{A\}$

Consideremos o vetor das ações externas aplicadas diretamente numa junta i , $\{A\}_i = \{A_{xi} \ A_{yi} \ A_{zi} \ A_{\theta i}\}$. Para as componentes A_{xi} , A_{yi} e $A_{\theta i}$ não existe nenhuma restrição quanto à sua distribuição e, no caso particular do programa desenvolvido, são admitidas 3 formas descritas abaixo:

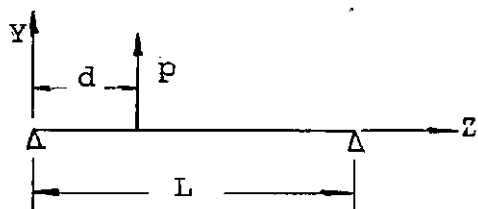
- carga uniformemente distribuída: (Fig.32)



$$p(z) = \sum_{n=1,3,5} \frac{4p_0}{n\pi} \operatorname{sen} \frac{n\pi z}{L}$$

$$p(z) = 0 \quad p/ = 2,4,6$$

- carga concentrada: (Fig.33)



$$p(z) = \sum \frac{2p}{L} \operatorname{sen} \frac{n\pi d}{L} \operatorname{sen} \frac{n\pi z}{L}$$

- carga parcialmente distribuída: (Fig.34)

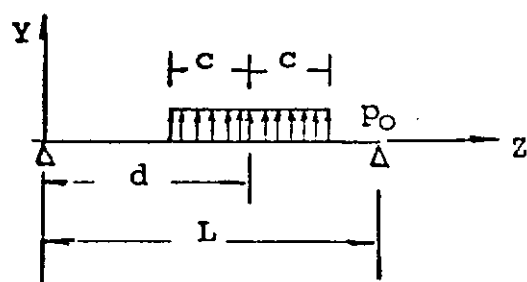


Fig. 34

$$p(z) = \sum \frac{4p_0}{n\pi} \sin \frac{n\pi c}{L} \sin \frac{n\pi d}{L} \sin \frac{n\pi z}{L}$$

- carga triangular (Fig.35)

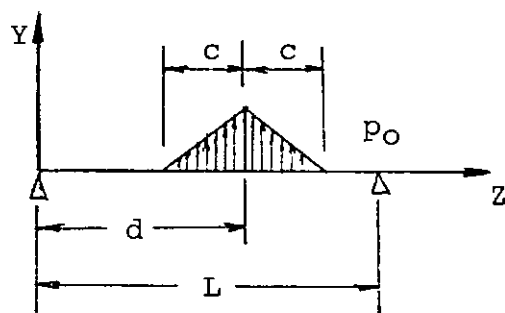


Fig. 35

$$p(z) = \sum \frac{4p_0 \cdot L}{n^2 \pi^2 c} \cdot \sin \frac{n\pi d}{L} \left(1 - \cos \frac{n\pi c}{L} \right)$$

$$\text{para } d = L/2$$

$$p(z) = \sum_{n=1,3,5} \frac{8p_0}{n^2 \pi^2} \cdot \sin \frac{n\pi}{2}$$

6.7.2 - Ações de Fixação dos Elementos Carregados {AML}

Para os elementos foram previstos os seguintes tipos de carregamentos: distribuição parcial e uniforme de q_x e q_y e carga concentrada P_y . Os carregamentos uniformes são calculados somente para os harmônicos ímpares, uma vez que são cargas simétricas. Os sentidos positivos das cargas e ações de fixação estão apresentados na Fig. 36.

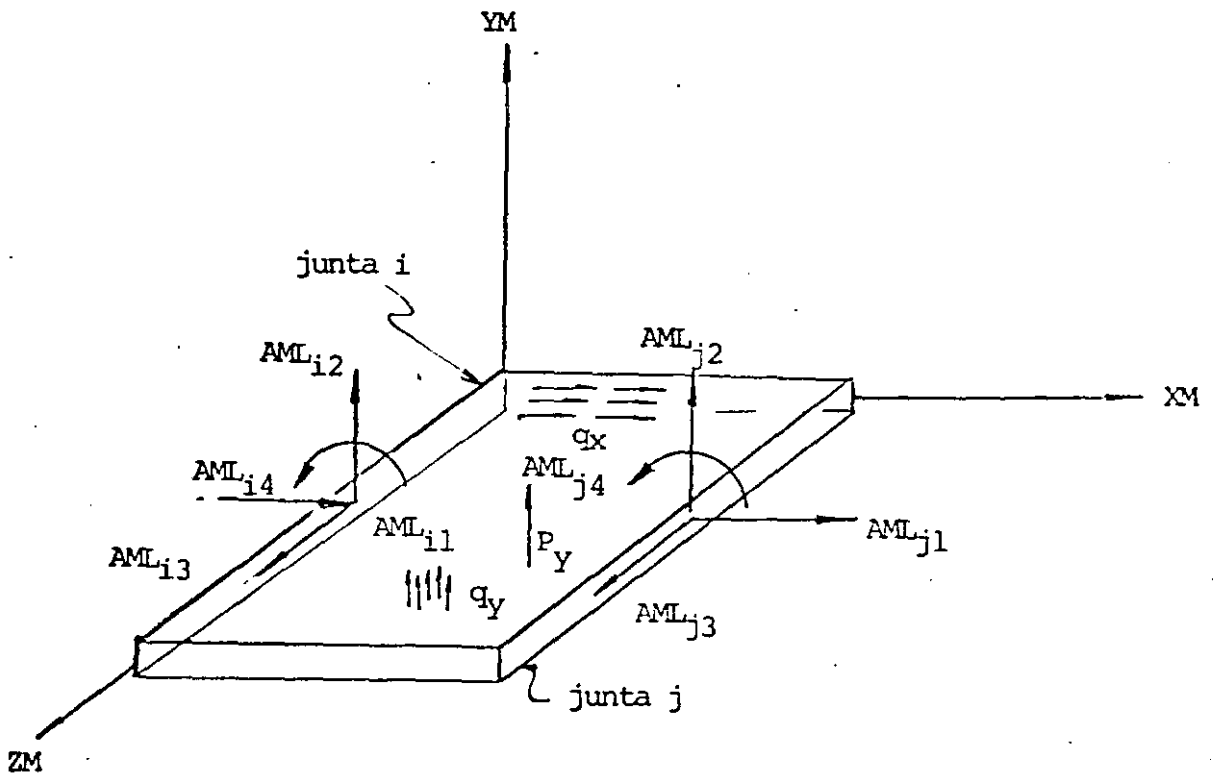


Fig. 36

1 - Carga Uniforme q_y

Para uma carga uniformemente distribuída q_y por unidade de área normal ao elemento, segundo CHU e DUDNIK¹⁵ e NEWMARK⁵¹, os valores de $\{AML\}_r$ são dados por:

$$AML_{i2} = -\frac{8q_y}{L} \left(\frac{B}{\beta}\right)^2 \left[\frac{\text{ch } \beta - 1}{\beta + \text{Sh } \beta} \right]$$

$$AML_{j2} = AML_{i2}$$

$$AML_{i4} = -\frac{4q_y}{L} \left(\frac{B}{\beta}\right)^3 \left[\frac{\text{Sh } \beta - \beta}{\beta + \text{Sh } \beta} \right]$$

$$AML_{j4} = -AML_{i4}$$

$$AML_{i1} = AML_{i3} = AML_{j1} = AML_{j3} = 0$$

2 - Carga Uniforme q_x

Para uma carga uniformemente distribuída q_x por unidade de área no plano do elemento, segundo CHU e DUDNIK¹⁵, os valores de {AML}_r são dados por:

$$AML_{i1} = \frac{-16 q_x}{(1+\nu)L} \left(\frac{B}{\beta}\right)^2 \left[\frac{Ch\beta - 1}{\beta + \lambda \cdot Sh\beta} \right]$$

$$AML_{j1} = AML_{i1}$$

$$AML_{i3} = - \frac{4q_x}{L} \left(\frac{B}{\beta}\right)^2 \left[\frac{Sh\beta - \beta}{\beta + \lambda \cdot Sh\beta} \right]$$

$$AML_{j3} = - AML_{i3}$$

$$AML_{i2} = AML_{i4} = AML_{j2} = AML_{j4} = 0$$

3. Carga Parcial q_y

Para uma carga parcialmente distribuída q_y normal ao elemento, segundo NEWMARK⁵¹ e CASTRILLÓN¹⁴, os valores de {AML}_r são dados por

$$AML_{i2} = - 2 \left(\frac{B}{\beta}\right) \left[\frac{Ch \beta - 1}{\beta + Sh \beta} \right] \cdot Q$$

$$AML_{j2} = AML_{i2}$$

$$AML_{i4} = - \left(\frac{B}{\beta}\right)^2 \left[\frac{Sh \beta - \beta}{\beta + Sh \beta} \right] \cdot Q$$

$$AML_{j4} = AML_{i4}$$

$$AML_{i1} = AML_{i3} = AML_{j1} = AML_{j3} = 0$$

Onde o fator Q corresponde a amplitude do carregamento de acordo com o tipo de distribuição:

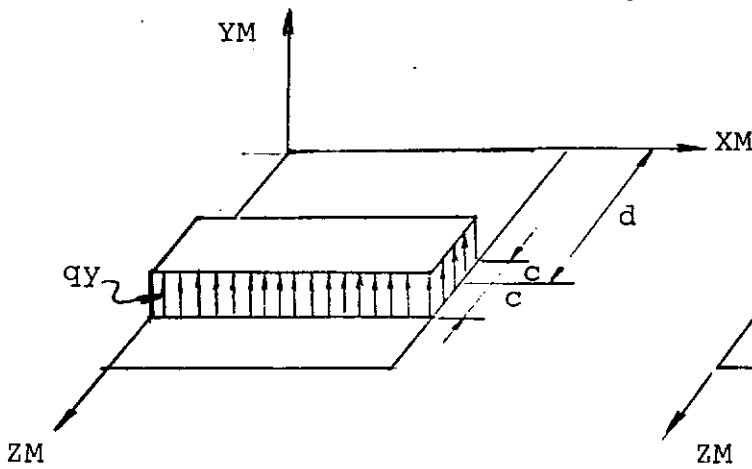


Fig. 38

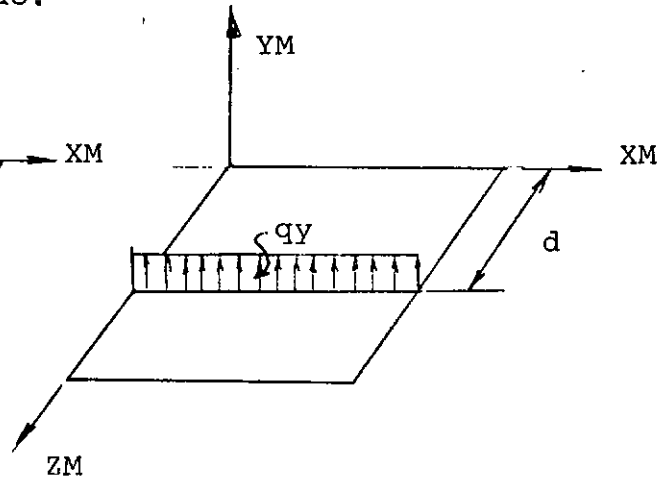


Fig. 39

$$Q = \frac{4qy}{L} \left(\frac{B}{\beta} \right) \text{sen} \frac{n\pi d}{L} \cdot \text{sen} \frac{n\pi c}{L}$$

$$Q = \frac{2 \cdot qy}{L} \cdot \text{sen} \frac{n\pi d}{L}$$

4 - Carga Parcial qx

Para uma carga parcialmente distribuída qx no plano do elemento, segundo CASTRILLÓN¹⁴, os valores de $\{AML\}_r$ são dados por:

$$AML_{i1} = - \frac{4}{(1+\nu)} \left(\frac{B}{\beta} \right) \left[\frac{\text{Ch } \beta - 1}{\beta + \lambda \cdot \text{Sh } \beta} \right] \cdot Q$$

$$AML_{j1} = AML_{i1}$$

$$AML_{i3} = - \left(\frac{B}{\beta} \right) \left[\frac{\text{Sh } \beta - \beta}{\beta + \lambda \cdot \text{Sh } \beta} \right] \cdot Q$$

$$AML_{j3} = AML_{i3}$$

$$AML_{i2} = AML_{i4} = AML_{j2} = AML_{j4} = 0$$

$$\text{Sendo} = \frac{3 - \nu c}{1 + \nu c}$$

Onde o fator Q corresponde a amplitude do carregamento de acordo com o tipo de distribuição:

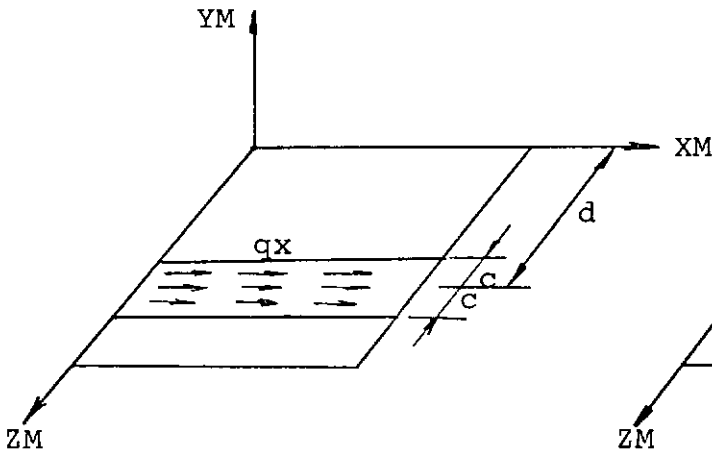


Fig. 40

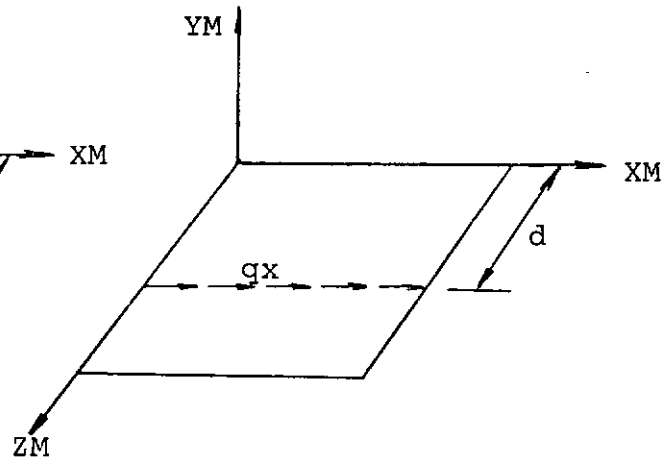


Fig. 41

$$Q = \frac{4qx}{L} \left(\frac{B}{\beta}\right) \sin \frac{n\pi d}{L} \cdot \sin \frac{n\pi c}{L}$$

$$Q = \frac{2qx}{L} \cdot \sin \frac{n\pi d}{L}$$

5 - Carga Concentrada Py

Para uma carga concentrada P_y aplicada normalmente ao elemento em $x = x_1$ e $z = z_1$, segundo CHU¹⁵ e DUDNIK¹³ e BITTNER¹³, os valores de $\{AML\}_r$ são dados por:

$$AML_{i2} = -\frac{2P_y}{LA} \sin \frac{n\pi z_1}{L} [U \cdot \text{Sh} \beta - \beta \cdot U']$$

$$AML_{i4} = \frac{-2P_y}{n\pi A} \sin \frac{n\pi z_1}{L} [\eta_1 \cdot \text{Sh} \beta \cdot \text{Sh} \eta_2 - \beta \cdot \eta_2 \cdot \text{Sh} \eta_1]$$

$$AML_{j2} = \frac{-2P_y}{LA} \sin \frac{n\pi z_1}{L} [U' \cdot \text{Sh} \beta - \beta \cdot U]$$

$$AML_{j4} = \frac{2P_y}{n\pi A} \sin \frac{n\pi z_1}{L} [\eta_2 \cdot \text{Sh} \beta \cdot \text{Sh} \eta_1 - \beta \cdot \eta_1 \cdot \text{Sh} \eta_2]$$

onde:

$$\eta_1 = \frac{n \pi x_1}{L} \quad \eta_2 = \frac{n \pi (B - x_1)}{L} = \beta - \eta_1$$

$$A = \operatorname{Sh}^2 \beta - \beta^2$$

$$U = \operatorname{Sh} \eta_2 + \eta_1 \cdot \operatorname{Ch} \eta_2$$

$$U' = \operatorname{Sh} \eta_1 + \eta_2 \cdot \operatorname{Ch} \eta_1$$

6.7.3 - Ações Equivalentes nas Juntas

O vetor $\{AE\}_i$ é constituído pela soma das contribuições das reações de fixação relativos a junta i dos diversos elementos que concorrem nesta junta. Para a sua formação é necessário transformar os vetores $\{AML_i\}_r$ orientados segundo os eixos dos elementos para os eixos da estrutura $\{AMD_i\}_r$

Assim, para a junta i tem-se:

$$\{AMD\}_r = [R_T]_r^T \{AML\}_r$$

ou:

$$\begin{Bmatrix} AMD_i \\ AMD_j \end{Bmatrix}_r = \begin{bmatrix} R^T & 0 \\ 0 & R^T \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} AML_i \\ AML_j \end{Bmatrix}_r$$

$$\{AMD_i\}_r = [R^T]_r \{AML_i\}_r$$

Os elementos da matriz $\{AMD_i\}_r$ serão dados por:

$$AMD_{i1} = CX. AML_{i1} - CY. AML_{i2}$$

$$AMD_{i2} = CY. AML_{i1} + CX. AML_{i2}$$

$$AMD_{i3} = AML_{i3}$$

$$AMD_{i4} = AML_{i4}$$

Considerando-se que o sinal destas ações deve ser invertido e que na junta i concorram os elementos r_1, r_2, \dots, r_n o vetor de cargas equivalente na junta i $\{AE_i\}$ será dado por:

$$\{AE_i\} = - \sum_{r=r1}^{r_n} \{AMD_i\}_r$$

6.7.4 - Ações Combinadas nas Juntas $\{AC\}$

O vetor de Cargas Combinadas nas Juntas será obtido so mando-se os vetores $\{A\}$ e $\{AE\}$, isto é:

$$\{AC_i\} = \{A_i\} + \{AE_i\}$$

6.8 - MATRIZ DE RIGIDEZ GLOBAL DA ESTRUTURA

Se os elementos r_1 , r_2 e r_3 possuem um bordo comum (junta i) e se o elemento r_1 se estende da junta i até g , r_2 da junta i até j , r_3 de i até p , tem-se pela condição de compatibilidade geométrica que os deslocamentos externos da junta $\{DJ_i\}$ devem ser iguais aos dos bordos i dos elementos $\{DS_i\}_r$. Assim, tem-se:

$$\{DS_i\}_{r1} = \{DS_i\}_{r2} = \{DS_i\}_{r3} = \{DJ_i\} \quad (15)$$

A condição de equilíbrio estático requer que todas as cargas externas aplicadas na junta i $\{AC_i\}$ sejam iguais à soma das ações no bordo i dos elementos $\{AS_i\}_r$ concorrentes nesta junta. Portanto:

$$\{AS_i\}_{r1} + \{AS_i\}_{r2} + \{AS_i\}_{r3} = \{AC_i\} \quad (16)$$

Usando-se as Eqs. (12) e (15) tem-se, por exemplo, para o elemento r_1 :

$$\begin{Bmatrix} AS_i \\ \vdots \\ AS_g \end{Bmatrix}_{r1} = \begin{bmatrix} SMD_{ii} & SMD_{ig} \\ \hline SMD_{gi} & SMD_{gg} \end{bmatrix}_{r1} \begin{Bmatrix} D_i \\ \vdots \\ D_g \end{Bmatrix}$$

chega-se a:

$$\{AS_i\}_{r1} = [SMD_{ii}]_{r1} \{D_i\} + [SMD_{ig}]_{r1} \{D_g\}$$

Analogamente:

$$\{AS_i\}_{r2} = [SMD_{ii}]_{r2} \{D_i\} + [SMD_{ij}]_{r2} \{D_j\}$$

$$\{AS_i\}_{r3} = [SMD_{ii}]_{r3} \{D_i\} + [SMD_{ip}]_{r3} \{D_p\}$$

Substituindo na Eq.(16) tem-se:

$$\sum_{r=r_1}^{r_3} \{AS_i\}_r = \sum_{r=r_1}^{r_3} [SMD_{ii}]_r \{D_i\} + [SMD_{ig}]_{r1} \{D_g\} +$$

$$+ [SMD_{ij}]_{r2} \{D_j\} + [SMD_{ip}]_{r3} \{D_p\} = \{AC_i\} \quad (17)$$

Se estendermos esta condição de equilíbrio estático para todas as juntas da estrutura, chegaremos finalmente a um sistema de equações que tem a seguinte forma, onde para fins de ilustração apresentou-se somente a relativa a junta i:

$$\begin{matrix} & g & i & j & p & & (18) \\ \begin{matrix} g \\ i \\ j \\ p \end{matrix} & \left[\begin{array}{cccc} & [SMD_{gi}]_{r1} & & \\ [SMD_{ig}]_{r1} & [SMD_{ii}]_{r1} & [SMD_{ij}]_{r1} & [SMD_{ip}]_{r1} \\ & [SMD_{ji}]_{r2} & & \\ & [SMD_{pi}]_{r3} & & \end{array} \right] & \left\{ \begin{array}{c} D_g \\ D_i \\ D_j \\ D_p \end{array} \right\} & = & \left\{ AC_i \right\} \end{matrix}$$

Na forma compacta, a Eq. (18) torna-se:

$$[SJ] \{DJ\} = \{AC\} \quad (19)$$

onde $[SJ]$ é a matriz de rigidez global da estrutura.

6.9 - DETERMINAÇÃO DOS DESLOCAMENTOS INCÓGNITOS E REAÇÕES DE APOIO

Efetuada-se uma renumeração dos deslocamentos da estrutura de forma que se identifiquem primeiramente os deslocamentos associados às direções livres e em seguida, os deslocamentos correspondentes às direções restringidas, a Eq. (19) pode ser reordenada assumindo a seguinte configuração final:

$$\begin{bmatrix} S & S_{DR} \\ S_{RD} & S_{RR} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} D \\ D_R \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} AD \\ AR-ARL \end{Bmatrix} \quad (20)$$

Como $\{D_R\} = \{0\}$, uma vez que não estamos considerando deslocamentos segundo as direções restringidas (recalques de apoio), tem-se:

$$[S] \{D\} = \{AD\} \quad (21)$$

Para determinar os deslocamentos $\{D\}$, usaremos o método da eliminação de Gauss que de modo figurado consiste na aplicação de um operador $[T]$ nas matrizes $[S]$ e $\{AD\}$ de tal forma que a matriz $[S^*]$ seja uma matriz triangular superior. Deve-se observar que este operador permite a passagem do sistema de equações (21) para um outro sistema de equações, Eq. (22) obtido por combinação linear das equações do primeiro:

$$\begin{aligned} ([T][S]) \{D\} &= [T]\{AD\} \\ [S^*] \{D\} &= \{AD^*\} \end{aligned} \quad (22)$$

$$\begin{aligned} \text{onde: } [S^*] &= [T] [S] \\ \{AD^*\} &= [T] \{AD\} \end{aligned}$$

A matriz $[T]$ é uma matriz triangular inferior.

Se a matriz $[S^*]$ for triangular superior, vem:

$$\begin{bmatrix} S^*_{11} & S^*_{12} & & S^*_{1n} \\ 0 & S^*_{22} & & S^*_{2n} \\ \text{-----} & & & \\ \text{-----} & & & \\ 0 & 0 & & S^*_{nn} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} D_1 \\ D_2 \\ \text{---} \\ \text{---} \\ D_n \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} AD^*_1 \\ AD^*_2 \\ \text{---} \\ \text{---} \\ AD^*_n \end{Bmatrix}$$

sendo imediata a obtenção de D_n pela divisão de AD^*_n por S^*_{nn} , valor de D_n que introduzido na equação de ordem $n-1$ leva à determinação de D_{n-1} e assim, sucessivamente, até a determinação de D_1 .

Uma vez determinados os deslocamentos incógnitos $\{D\}$, poderemos obter as reações de apoio pela Eq. (23)

$$\{AR\} = [S_{RD}] \{D\} + \{ARL\} \quad (23)$$

6.10 - AÇÕES E DESLOCAMENTOS NAS EXTREMIDADES DO ELEMENTO

Uma vez determinados os deslocamentos incógnitos poderemos retomar à numeração original e, portanto, no que se segue, voltaremos a usar $\{D_j\}$ para representar o vetor associado aos deslocamentos das juntas da estrutura sem fazer distinção entre os correspondentes às direções livres e às direções restringidas.

Os deslocamentos nos bordos do elemento referido ao sistema local é dado pela Eq. (8):

$$\{DM\}_r = [R_T]_r \{DS\}_r$$

$$\text{Como: } \{DS_i\}_r = \{DJ_i\}$$

$$\{DS_j\}_r = \{DJ_j\}$$

$$\begin{Bmatrix} DM_i \\ \text{---} \\ DM_j \end{Bmatrix}_r = \begin{bmatrix} R & | & O \\ \text{---} & + & \text{---} \\ O & | & R \end{bmatrix}_r \begin{Bmatrix} DJ_i \\ \text{---} \\ DJ_j \end{Bmatrix}$$

Tem-se:

$$\{DM_i\}_r = [R]_r \{DJ_i\}$$

$$\{DM_j\}_r = [R]_r \{DJ_j\}$$

Por exemplo, para a borda i do elemento r tem-se:

$$DM_{i1} = CX. DJ_{i1} + CY. DJ_{i2}$$

$$DM_{i2} = -CY. DJ_{i1} + CX. DJ_{i2}$$

$$DM_{i3} = DJ_{i3}$$

$$DM_{i4} = DJ_{i4}$$

As ações finais para um elemento r serão dadas pela equação de superposição das ações de fixação $\{AML\}_r$ devido as cargas aplicadas no mesmo, com as ações provenientes dos deslocamentos dos bordos do elemento:

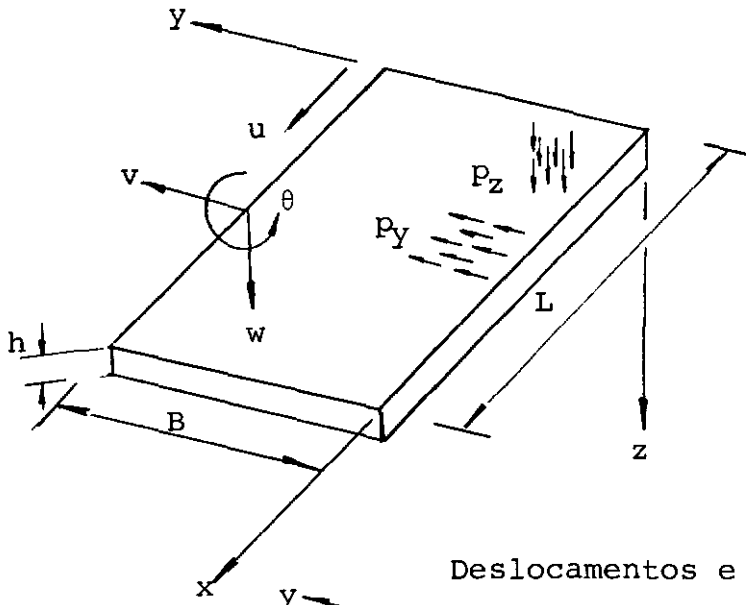
$$\{AM\}_r = \{AML\}_r + [SM]_r \{DM\}_r$$

$$\{AM\}_r = \{AML\}_r + [SM]_r [R_T]_r \{DS\}_r$$

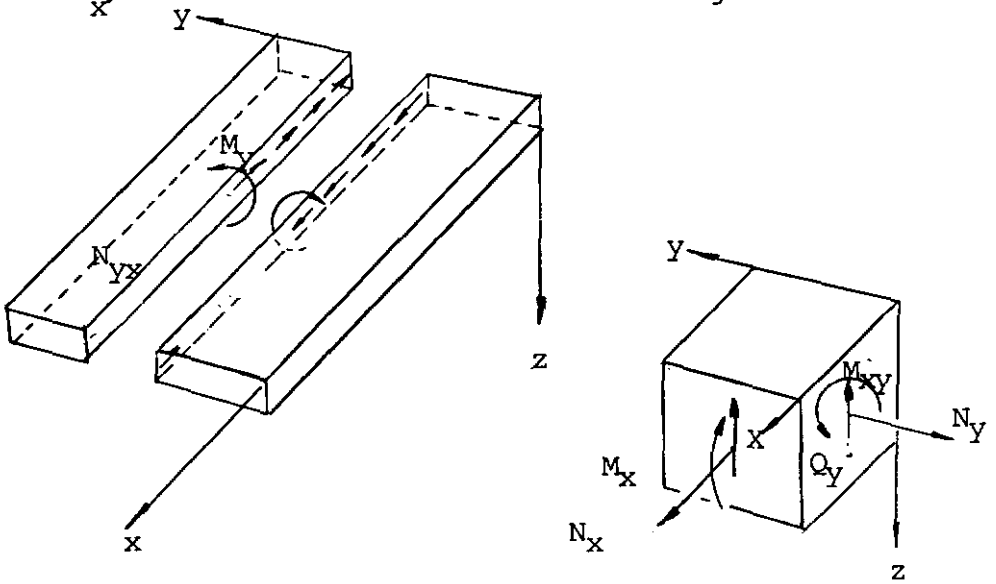
$$\{AM\}_r = \{AML\}_r + [SMR]_r \{DS\}_r$$

6.11 - Determinação dos Esforços no Interior do Elemento

Para a determinação dos esforços iremos empregar o seguinte sistema de eixos mostrado na Fig.42 com as convenções de sinais para forças e deslocamentos.



Deslocamentos e cargas



Forças e Momentos

Fig. 42

6.11.1 - Comportamento de Chapa

Os esforços internos nos elementos relacionados ao comportamento de chapa são obtidos a partir dos deslocamentos dos bordos contidos no plano do elemento.

Com esta finalidade iremos inicialmente estabelecer uma correlação entre os deslocamentos dos bordos e os referentes ao ponto onde se deseja calcular os esforços.

Os deslocamentos u e v de um ponto genérico de coordenadas x e y (Fig. 42) podem ser expressos por:

$$u_n(x,y) = A_{1n} \cdot \text{Ch}\eta + A_{2n} \cdot \text{Sh}\eta + A_{3n} \cdot \eta \cdot \text{Ch}\eta + A_{4n} \cdot \eta \cdot \text{Sh}\eta$$

$$v_n(x,y) = A_{1n} \cdot \text{Sh}\eta + A_{2n} \cdot \text{Ch}\eta + A_{3n} \cdot (\eta \cdot \text{Sh}\eta - \lambda \cdot \text{Ch}\eta) +$$

$$+ A_{4n} (\eta \cdot \text{Ch}\eta - \lambda \cdot \text{Sh}\eta)$$

$$\text{onde: } \eta = \frac{n\pi y}{L} \quad \lambda = \frac{3-\nu_c}{1+\nu_c}$$

De posse destas expressões poderemos determinar os esforços internos recorrendo-se as equações abaixo:

$$N_{xn} = \frac{Eh}{(1-\nu^2)} \left(\frac{\partial u_n}{\partial x} + \nu \cdot \frac{\partial v_n}{\partial y} \right)$$

$$N_{yn} = \frac{Eh}{(1-\nu^2)} \left(\frac{\partial v_n}{\partial y} + \nu \cdot \frac{\partial u_n}{\partial x} \right)$$

$$N_{xy_n} = \frac{Eh}{2(1+\nu)} \left(\frac{\partial u_n}{\partial y} + \frac{\partial v_n}{\partial x} \right)$$

Resultando nas seguintes equações:

$$N_{x_n} = \frac{-hE}{(1+\nu)} \cdot \frac{n\pi}{L} \left\{ A_{1n} \cdot \text{Ch}\eta + A_{2n} \cdot \text{Sh}\eta + A_{3n} \cdot \left[\eta \cdot \text{Ch}\eta + \frac{2\nu}{1+\nu} \text{Sh}\eta \right] + \right. \\ \left. + A_{4n} \left[\eta \cdot \text{Sh}\eta + \frac{2\nu}{1+\nu} \text{Ch}\eta \right] \right\} \sin \frac{n\pi x}{L}$$

$$N_{y_n} = \frac{hE}{(1+\nu)} \cdot \frac{n\pi}{L} \left\{ A_{1n} \cdot \text{Ch}\eta + A_{2n} \cdot \text{Sh}\eta + A_{3n} \cdot \left[\eta \cdot \text{Ch}\eta - \frac{2}{1+\nu} \text{Sh}\eta \right] + \right. \\ \left. + A_{4n} \left[\eta \cdot \text{Sh}\eta - \frac{2}{1+\nu} \text{Ch}\eta \right] \right\} \sin \frac{n\pi x}{L}$$

$$N_{xy_n} = \frac{hE}{(1+\nu)} \cdot \frac{n\pi}{L} \left\{ A_{1n} \cdot \text{Sh}\eta + A_{2n} \cdot \text{Ch}\eta + A_{3n} \cdot \left[\eta \cdot \text{Sh}\eta - \frac{(1-\nu)}{1+\nu} \text{Ch}\eta \right] + \right. \\ \left. + A_{4n} \left[\eta \cdot \text{Ch}\eta - \frac{(1-\nu)}{1+\nu} \text{Sh}\eta \right] \right\} \cos \frac{n\pi x}{L}$$

Colocando sob forma matricial tem-se para a amplitude destes esforços:

$$\begin{Bmatrix} N_x \\ N_y \\ N_{xy} \end{Bmatrix}_n = \frac{hE}{(1+\nu)} \cdot \frac{n\pi}{L} \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} & C_{14} \\ C_{21} & C_{22} & C_{23} & C_{24} \\ C_{31} & C_{32} & C_{33} & C_{34} \end{bmatrix}_n \begin{Bmatrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ A_4 \end{Bmatrix}_n$$

ou de forma compacta:

$$\{N_c\} = (1+\nu) D' \left(\frac{\beta}{B} \right) \{C\} \{A\}$$

onde:

$$D' = \frac{Eh}{(1+\nu)^2}$$

$$\beta = \frac{n \pi B}{L}$$

$$C_{11} = -Ch\eta$$

$$C_{12} = -Sh\eta$$

$$C_{13} = -(\eta Ch\eta + \frac{2\nu}{1+\nu} Sh\eta)$$

$$C_{14} = -(\eta Sh\eta + \frac{2\nu}{1+\nu} Ch\eta)$$

$$C_{21} = Ch\eta$$

$$C_{22} = Sh\eta$$

$$C_{23} = \eta Ch\eta - \frac{2}{1+\nu} Sh\eta$$

$$C_{24} = \eta Sh\eta - \frac{2}{1+\nu} Ch\eta$$

$$C_{31} = Sh\eta$$

$$C_{32} = Ch\eta$$

$$C_{33} = \eta Sh\eta - (\frac{1-\nu}{1+\nu}) Ch\eta$$

$$C_{34} = \eta Ch\eta - (\frac{1-\nu}{1+\nu}) Sh\eta$$

A matriz {A} é obtida tomando-se isoladamente cada um dos quatro deslocamentos de bordo, respectivamente u_i , v_i , u_j e v_j com valor unitário e mantendo-se nulo os demais. Ao superpor mos estes resultados tomados para deslocamento de bordo podere-

mos formar a matriz $[B]$ cujos elementos possuem um fator constante $1/A'$ onde $A' = \beta^2 - \lambda^2 \cdot \text{Sh}^2 \beta$.

Assim sendo tem-se:

$$\begin{Bmatrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ A_4 \end{Bmatrix}_n = \frac{1}{A'} \begin{bmatrix} B_{11} & B_{12} & B_{13} & B_{14} \\ B_{21} & B_{22} & B_{23} & B_{24} \\ B_{31} & B_{32} & B_{33} & B_{34} \\ B_{41} & B_{42} & B_{43} & B_{44} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} U_i \\ v_i \\ U_i \\ v_i \end{Bmatrix}$$

de forma compacta $\{A\} = \frac{1}{A'} [B] \{\delta\}$

onde: $(k = 1, 2, 3, 4)$

B_{k1} corresponde a $u_i = 1$ e $v_i = u_j = v_j = 0$

B_{k2} " $v_i = 1$ e $u_i = u_j = v_j = 0$

B_{k3} " $u_j = 1$ e $u_i = v_i = v_j = 0$

B_{k4} " $v_j = 1$ e $u_i = v_i = u_j = 0$

Logo:

$$B_{11} = A'$$

$$B_{21} = -\lambda(\beta - \lambda \cdot \text{Sh}\beta \cdot \text{Ch}\beta)$$

$$B_{31} = -(\beta - \lambda \cdot \text{Sh}\beta \cdot \text{Ch}\beta)$$

$$B_{41} = -\lambda \cdot \text{Sh}^2 \beta$$

$$B_{12} = 0$$

$$B_{22} = \beta^2$$

$$B_{32} = \lambda \cdot \text{Sh}^2 \beta$$

$$B_{42} = - (\beta + \lambda \cdot \text{Sh} \beta \cdot \text{Ch} \beta)$$

$$B_{13} = 0$$

$$B_{23} = \lambda (\beta \cdot \text{Ch} \beta - \lambda \cdot \text{Sh} \beta)$$

$$B_{33} = \beta \cdot \text{Ch} \beta - \lambda \cdot \text{Sh} \beta$$

$$B_{43} = - \beta \cdot \text{Sh} \beta$$

$$B_{14} = 0$$

$$B_{24} = - \lambda \cdot (\beta \cdot \text{Sh} \beta)$$

$$B_{34} = - \beta \cdot \text{Sh} \beta$$

$$B_{44} = \beta \cdot \text{Ch} \beta + \lambda \cdot \text{Sh} \beta$$

Finalmente tem-se:

$$\{N\}_n = (1+\nu) \frac{D'}{A'} \left(\frac{\beta}{B} \right) \{C\} [B] \{\delta\}$$

Nota: Esta determinação de esforços internos é válida somente para os elementos não sujeitos a cargas contínuas no plano do elemento.

6.11.2 - Comportamento de placa

No que concerne ao comportamento de placa, iremos determinar os momentos fletores M_x e M_y por unidade de comprimento para uma faixa, respectivamente nas direções x e y .

Os valores de $(M_x)_r$ e $(M_y)_r$, num ponto qualquer (x, y) num elemento r podem ser expressos pela superposição dos seguintes efeitos:

- a - o efeito da carga atuante numa placa simplesmente apoiada em todo contorno;
- b - o efeito da deflexão w_i no bordo i ;
- c - o efeito de deflexão w_j no bordo j ;
- d - o efeito do momento M_i no bordo i ;
- e - o efeito do momento M_j no bordo j .

Para os valores de M_x e M_y correspondentes a primeira parcela iremos representar por $(M_{xs})_r$ e $(M_{ys})_r$ ao relativo a soma do restante por $(M_{xc})_r$ e $(M_{yc})_r$ que chamaremos de momentos devido a continuidade.

Utilizamos neste particular as expressões deduzidas por CHU¹⁵ e DUDNIK⁵¹ com base no trabalho de NEWMARK⁵¹. Este último visava a elaboração de tabelas adimensionais e independentes do coeficiente de Poisson, que permitisse a determinação destes

esforços face a limitação dos recursos computacionais da época. Com este objetivo, NEWMARK⁵¹ recorreu ao artifício de se introduzir um momento fletor fictício concomitante e proporcional a deflexão dada no bordo do elemento. Assim sendo, a superposição dos efeitos de b a e era mascarada pela seguinte alternativa:

bl - o efeito da deflexão w_i no bordo i mais um momento fictício - M_i^f no bordo i proporcional a deflexão i .

cl - o efeito de w_j e - M_j^f no bordo j

dl - o efeito do momento M_i no bordo i menos o momento - M_i^f introduzido no passo bl ou o efeito de $M_i + M_i^f$

el - o efeito de $M_j + M_j^f$ no bordo j .

CHU e DUDNIK¹⁵, valeram-se destas equações simples, devidas aos momentos de continuidade, somaram as contribuições dos efeitos bl, cl, dl e el e em seguida desmembraram-as em expressões que traduzem os efeitos \underline{b} , \underline{c} , \underline{d} e \underline{e} descritos anteriormente. Estas equações serão transcritas a seguir:

$$(M_x)_r = (M_{xc})_r + (M_{xs})_r = \sum_{n=1}^{\infty} (M_{nxc})_r \cdot \text{sen} \frac{n\pi x}{L} + \sum_{n=1}^{\infty} (M_{nxs})_r \cdot \text{sen} \frac{n\pi x}{L}$$

$$(M_y)_r = (M_{yc})_r + (M_{ys})_r = \sum_{n=1}^{\infty} (M_{nyc})_r \cdot \text{sen} \frac{n\pi x}{L} + \sum_{n=1}^{\infty} (M_{nys})_r \cdot \text{sen} \frac{n\pi x}{L}$$

Nas equações acima, M_{xc} e M_{yc} são os momentos devido a continuidade e M_{xs} e M_{ys} são os momentos para a placa simplesmente apoiada nos quatro bordos.

Para cada harmônico, M_{xc} e M_{yc} são determinados pelas seguintes equações:

$$(M_{xc})_r = -C_1 \cdot M_i + C'_1 \cdot M_j - C_3 \cdot w_i + C'_3 \cdot w_j$$

$$(M_{yc})_r = -C_2 \cdot M_i + C'_2 \cdot M_j + C_4 \cdot w_i - C'_4 \cdot w_j$$

onde w_i , w_u , M_i e M_j são determinados a partir das Eqs. e C_1 , C_2 , C_3 , C_4 , C'_1 , C'_2 , C'_3 e C'_4 são coeficientes dados pelas seguintes expressões:

$$C_1 = m_x + \nu \cdot m'_y$$

$$C'_1 = m'_x + \nu \cdot m'_y$$

$$C_2 = m_y + \nu \cdot m_x$$

$$C'_2 = m'_y + \nu \cdot m'_x$$

$$m_x = \frac{1}{2} \frac{\text{Sh} \cdot \eta'}{\text{Sh} \beta} \left[\beta \cdot \cotgh \beta - \eta' \cdot \cotgh \eta' \right]$$

$$m_y = \frac{\text{Sh} \eta'}{\text{Sh} \beta} - m_x$$

$$m'_x = \frac{1}{2} \frac{\text{Sh} \eta}{\text{Sh} \beta} \left[\beta \cdot \cotgh \beta - \eta \cdot \cotgh \eta \right]$$

$$m'_y = \frac{\text{Sh} \eta}{\text{Sh} \beta} - m'_x$$

$$C_3 = D \left(\frac{n\pi}{L} \right)^2 \frac{(1-\nu)^2}{2 \operatorname{Sh} \beta} \cdot \operatorname{Sh} \eta' \left[2 \frac{(1+\nu)}{(1-\nu)} + \beta \cdot \operatorname{cotgh} \beta - \eta' \operatorname{cotgh} \eta' \right]$$

$$C'_3 = D \left(\frac{n\pi}{L} \right)^2 \frac{(1-\nu)^2}{2 \operatorname{Sh} \beta} \cdot \operatorname{Sh} \eta \cdot \left[2 \frac{(1+\nu)}{(1-\nu)} + \beta \cdot \operatorname{cotgh} \beta - \eta \cdot \operatorname{cotgh} \eta \right]$$

$$C_4 = D \left(\frac{n\pi}{L} \right)^2 \frac{(1-\nu)^2}{2 \operatorname{Sh} \beta} \cdot \operatorname{Sh} \eta' \cdot \left[\beta \cdot \operatorname{cotgh} \beta - \eta' \cdot \operatorname{cotgh} \eta' \right]$$

$$C'_4 = D \left(\frac{n\pi}{L} \right)^2 \frac{(1-\nu)^2}{2 \operatorname{Sh} \beta} \cdot \operatorname{Sh} \eta \cdot \left[\beta \cdot \operatorname{cotgh} \beta - \eta \cdot \operatorname{cotgh} \eta \right]$$

onde:

$$\eta = \frac{n\pi y}{L} \quad \text{e} \quad \eta' = \frac{n\pi (B-y)}{L} = \beta - \eta$$

13, 15, 51

Momentos numa placa simplesmente apoiada:

a) Para uma carga uniforme q normal ao elemento:

$$M_{xs} = \frac{4qL^2}{n^3 \pi^3} \left\{ 1 - \left[\frac{\eta \cdot \operatorname{Sh} \beta}{2 (\operatorname{Ch} \beta + 1)} (1-\nu) + 1 \right] \cdot \operatorname{Ch} \eta + \right. \\ \left. + \left[\frac{-\beta (1-\nu) + 2 \operatorname{Sh} \beta}{2 (\operatorname{Ch} \beta + 1)} + \eta \left(\frac{1-\nu}{2} \right) \right] \operatorname{Sh} \eta \right\}$$

$$M_{ys} = \frac{4qL^2}{n^3 \pi^3} \left\{ \nu + \left[\frac{\eta \cdot \operatorname{Sh} \beta}{2 (\operatorname{Ch} \beta + 1)} (1-\nu) - \nu \right] \operatorname{Ch} \eta + \right. \\ \left. + \left[\frac{\beta (1-\nu) + 2\nu \operatorname{Sh} \beta}{2 (\operatorname{Ch} \beta + 1)} - \eta \left(\frac{1-\nu}{2} \right) \right] \operatorname{Sh} \eta \right\}$$

b) Para uma carga concentrada P normal ao elemento aplicada em $x = x_1$ e $y = y_1$.

Para $y > y_1$:

$$M_{xs} = \frac{P \cdot \text{Sh} \eta_1}{\text{Sh} \beta} \left(\frac{1-\nu}{n\pi} \right) \left[\left(W + \frac{1+\nu}{1-\nu} \right) \text{Sh} \eta' - \eta' \cdot \text{Ch} \eta' \right] \text{sen } \xi_1$$

$$M_{ys} = \frac{-P \cdot \text{Sh} \eta_1}{\text{Sh} \beta} \left(\frac{1-\nu}{n\pi} \right) \left[\left(W - \frac{1+\nu}{1-\nu} \right) \text{Sh} \eta' - \eta' \cdot \text{Ch} \eta' \right] \text{sen } \xi_1$$

Para $y \leq y_1$:

$$M_{xs} = \frac{P \cdot \text{Sh} \eta_2}{\text{Sh} \beta} \left(\frac{1-\nu}{n\pi} \right) \left[\left(W' + \frac{1+\nu}{1-\nu} \right) \text{Sh} \eta - \eta \cdot \text{Ch} \eta \right] \text{sen } \xi_1$$

$$M_{ys} = \frac{-P \cdot \text{Sh} \eta_2}{\text{Sh} \beta} \left(\frac{1-\nu}{n\pi} \right) \left[\left(W' - \frac{1+\nu}{1-\nu} \right) \text{Sh} \eta - \eta \cdot \text{Ch} \eta \right] \text{sen } \xi_1$$

onde:

$$\xi_1 = \frac{n\pi x_1}{L} \quad \eta_1 = \frac{n\pi y_1}{L} \quad \eta_2 = \frac{n\pi(B-y_1)}{L} = \beta - \eta_1$$

$$W = \beta \cdot \text{cotgh } \beta - \eta_1 \cdot \text{cotgh } \eta_1$$

$$W' = \beta \cdot \text{cotgh } \beta - \eta_2 \cdot \text{cotgh } \eta_2$$

As equações acima não podem ser aplicadas no ponto diretamente sob a carga concentrada uma vez que a série não será

neste caso convergente. Para $B < x_1 < (L-B)$, $y_1 > 2c$ e $L > 2B$, as seguintes fórmulas podem ser usadas para o cálculo de M_x e M_y devido a P no seu ponto de aplicação:

$$M_{ys} = \frac{P}{4\pi} \left[(1+\nu) \log_e \left(\frac{2b \cdot \sin \frac{\pi y_1}{B}}{\pi \cdot c} \right) + 1 \right]$$

$$M_{xs} = M_y - \frac{(1-\nu)P}{4\pi}$$

onde c é o raio do círculo em que a carga P é admitida uniformemente distribuída.

Observação:

As fórmulas acima dão os momentos reais ao passo que as anteriores dão somente os valores dos coeficientes de Fourier para o harmônico em questão.

VII - DESCRIÇÃO DO PROGRAMA

Para análise completa das tensões em vigas de rolamento foram desenvolvidos três programas que poderão ser posteriormente acoplados para gerar um único programa.

Atualmente, tem-se um programa principal (STRAPL) e dois acessórios (PLACA e CHAPA); o primeiro permite determinar os esforços e deslocamentos nos bordos do elemento e os dois últimos utilizando estas respostas calculam os esforços internos, respectivamente, para o comportamento de placa e chapa.

7.1 - Programa STRAPL

O programa STRAPL foi desenvolvido a partir da bibliografia 59 , sendo feitas diversas implementações para se atender o objetivo de nosso estudo.

29

Seguiu-se basicamente a orientação de GERE e WEAVER para a análise de estruturas reticuladas, razão pela qual evitaremos tecer minúcias sobre certos aspectos computacionais.

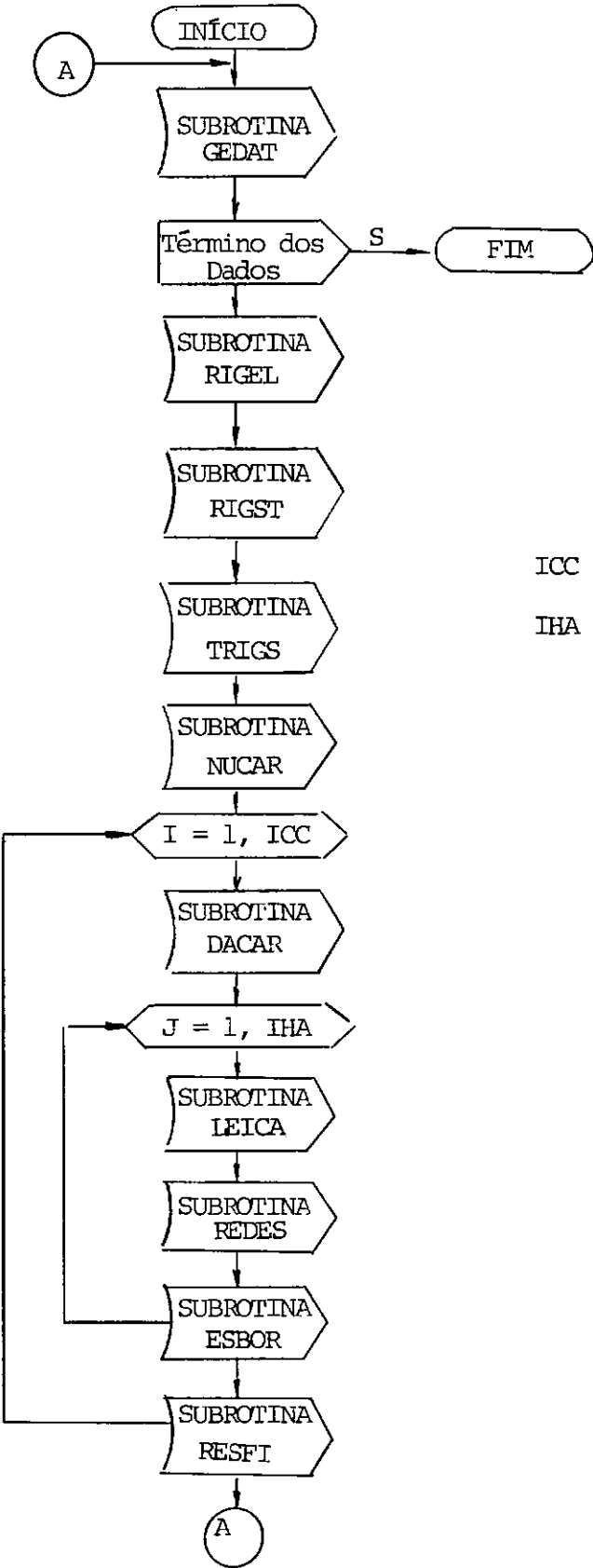
A seguir, daremos o diagrama de blocos simplificado do Programa Principal que nos mostra de maneira geral o funcionamento do mesmo e, finalmente, será descrito resumidamente o papel de cada uma das subrotinas envolvidas no programa.

7.1.1 - Programa Principal

No programa principal é estabelecida a chamada das subrotinas principais, estruturando toda a marcha de cálculo a ser seguida na solução do problema.

Para se aumentar a eficiência computacional são gerados dois grupos de harmônicos, o primeiro geral para toda a estrutura e o segundo particular que utiliza parte ou totalmente os harmônicos do primeiro grupo. A finalidade desta última geração é evitar cálculos desnecessários para carregamentos que necessitam somente de certos harmônicos, por exemplo, nos carregamentos simétricos somente os termos ímpares são relevantes.

FLUXOGRAMA DO PROGRAMA STRAPL



ICC - número de casos de carregamento
IHA - número de harmônicos para os carregamentos

7.1.2 - Subrotina GEDAT

Esta subrotina executa as seguintes tarefas:

- leitura e impressão dos contadores (número de elementos, número de juntas, número de juntas restringidas, número de elementos com liberações e número de materiais), vão e quando existir um único material para toda a estrutura, o módulo de elasticidade e o coef. de Poisson;
- teste de consistência dos contadores;
- leitura e impressão da tabela de materiais (número de referência do material, módulo de elasticidade e coef. de Poisson, respectivamente, para o comportamento de placa e de chapa). Esta etapa só é executada quando existir mais de um material em toda a estrutura;
- leitura e impressão das coordenadas das juntas;
- leitura e impressão das incidências, comprimento e outros dados adicionais relativos ao elemento dependendo do caso em questão: a) quando houver um material, a espessura; b) quando houver mais de um material, as espessuras para o comportamento de placa e chapa e o número de referência do material do elemento; c) quando se analise como quadro, a arca e o momento de inércia. Para este último caso, admite-se somente um único material para a estrutura;

- leitura e impressão da lista de restrições nas juntas;
- geração da lista acumulada de restrições nas juntas;
- leitura e impressão da lista de elementos com liberações;
- leitura e impressão do número de termos do desenvolvimento em série a serem usados para a análise da estrutura e a lista dos harmônicos.

7.1.3 - Subrotina RIGEL

O objetivo principal desta subrotina é a geração, para cada harmônico especificado na subrotina GEDAT, das matrizes de rigidez $[SM]$ no sistema local e a matriz auxiliar $[SMR]$ de todos os elementos. Para os elementos dotados de liberações nas extremidades são feitas as devidas alterações nas matrizes de rigidez.

7.1.4 - Subrotina RIGST

Esta subrotina é responsável pela formação da matriz de rigidez global da estrutura para cada um dos harmônicos especificados na subrotina GEDAT.

Faz-se uma triagem percorrendo todas as juntas da estrutura e para cada uma destas pesquisa-se para cada elemento se

este concorre na junta em pauta. Caso positivo calcula-se a contribuição do elemento gerando-se previamente a matriz $[SMD]$ e em caso contrário procede-se a pesquisa em um novo elemento. Na fase de montagem faz-se uma reordenação dos índices de modo a se gerar automaticamente as matrizes $[S]$ e $[SRD]$ utilizando a lista acumulada das restrições para esta finalidade.

7.1.5 - Subrotina TRIGS

Esta subrotina destina-se à transformação da matriz de rigidez $[S]$ em triangular superior $[S^*]$ utilizando uma matriz $[F]$ que será acionada posteriormente para efetuar a alteração conforme na matriz $\{AD\}$.

7.1.6 - Subrotina NUCAR

Esta subrotina efetua somente a leitura do número de carregamentos para se fazer uma interação ao longo das subrotinas restantes sob o comando do programa principal.

7.1.7 - Subrotina DACAR

Esta subrotina destina-se a ler os dados gerais relativos ao carregamento tais como título do mesmo, tipo, número de juntas e elementos carregados, número de cartões de cargas nas juntas e elementos e a lista dos termos a serem usados no desenvolvimento em série do carregamento.

Além desta finalidade de ordem geral, ela efetua a leitura, gravação em disco e impressão das cargas nas juntas e nos elementos para o carregamento TIPO 2. Entende-se como carregamento TIPO 2 aqueles cujas cargas constam no acervo do programa e para os quais o programa calcula internamente as amplitudes das cargas nas juntas e das forças de fixação para as cargas nos elementos. Para os tipos de carga não supridas pelo programa pode-se entrar diretamente com as amplitudes e este corresponde ao chamado TIPO 1.

7.1.8 - Subrotina LEICA

Esta subrotina executa as seguintes tarefas:

- leitura e impressão das amplitudes das cargas aplicadas nas juntas e das ações de fixação nas extremidades dos elementos, quando for TIPO 1 o carregamento;
- leitura em disco das cargas atuantes nas juntas e elementos, para o TIPO 2, e em seguida é feita a determinação das amplitudes para o harmônico em questão;
- formação das matrizes $\{A\}$ e $\{AML\}$;
- alteração da matriz $\{AML\}$ para os elementos dotados de liberações;
- geração da matriz de cargas equivalentes nas juntas $\{AE\}$;

- formação da matriz de cargas combinadas nas juntas {AC} utilizando a lista acumulada de restrições para que se possa isolar as ações relativas as direções livres das referentes às direções restringidas, respectivamente, {AD} e {AR-ARL}.

7.1.9 - Subrotina REDES

Esta subrotina tem as seguintes finalidades:

- transformar a matriz {AD} em {AD*} utilizando a matriz [F] gerada na subrotina TRIGS;
- determinar os deslocamentos partindo-se de D_n e efetuando-se a retrossubstituição;
- calcular as reações de apoio;
- remontar as matrizes {AC} e {DJ} retomando-se a numeração primitiva e posteriormente gravação das mesmas em disco.

7.1.10 - Subrotina ESBOR

Esta subrotina destina-se a calcular os esforços e os deslocamentos, referidos ao sistema local dos bordos longitudinais de cada um dos elementos da estrutura.

7.1.11 - Subrotina RESFI

A finalidade desta subrotina é fornecer as respostas finais para as seções (coordenadas z) fixadas pelo usuário.

Para isto, serão somadas as amplitudes das ações e deslocamentos pré-multiplicados por uma função trigonométrica de z para cada um dos harmônicos especificados para análise da estrutura. A função será seno para todas as ações e deslocamentos que não sejam segundo a direção z ; para estas a função será coseno.

Serão impressos para as seções requisitadas os deslocamentos e as reações de apoio nas juntas referidas ao sistema global e para os elementos, os deslocamentos e esforços nos bordos segundo o sistema local.

7.1.12 - Subrotinas de Apoio

São as destinadas a informar os estados das chaves de impressão (subrotinas RESUL e CHAVE), a localizar o ponto de parada imprevista no fluxo do programa (subrotina ERRO), a testar a paridade do harmônico (subrotina TESPARE) e a imprimir cabeçalhos (subrotinas PRINT1, PRINT2, PRINT3, PRINT4 e PRINT5).

7.2 - Programa PLACA

A finalidade deste programa é calcular os momentos no interior do elemento em função das condições de bordo e das cargas atuantes sobre o elemento.

7.3 - Programa CHAPA

O objetivo deste programa é determinar os esforços no interior do elemento, baseado nos deslocamentos no seu próprio plano aplicados nos bordos longitudinais do elemento.

VIII - TESTES E APLICAÇÕES PRÁTICAS

Iremos apresentar, de forma sumária, alguns dos exemplos utilizados para se atestar a validade das implementações efetuadas durante o desenvolvimento deste trabalho e, por fim, a aplicação do problema específico de tensões locais em vigas de rolamento. Com relação a estes últimos exemplos, concentramos principalmente na tensão local de flexão longitudinal da mesa superior, pela escassez de estudos aprofundados sobre este tópico. Isto propiciou o surgimento de detalhes construtivos, conforme teremos oportunidade de constatar a seguir, e que, ao contrário do que se esperava, pouco ou nada contribuem para amortecer estas tensões.

Exemplo 1 - Teste do Programa STRAPL

O primeiro exemplo empregado foi retirado do manual de utilização do programa SPLA, cujas características e sua respectiva esquematização para utilização do programa STRAPL acham-se descritas na Fig. 43.

Foram considerados diversos tipos de carregamento nos elementos e nas juntas e, com base nos resultados, estabeleceu-se o quadro comparativo das flechas no centro do vão entre os do programa e as obtidas pela Resist. dos Materiais.

Carregamento	STRAPL	RES. MAT.
1 e 3	7,549 mm	7,154 mm
2 e 4	12,107 mm	11,447 mm
5	48,350 mm	45,787 mm

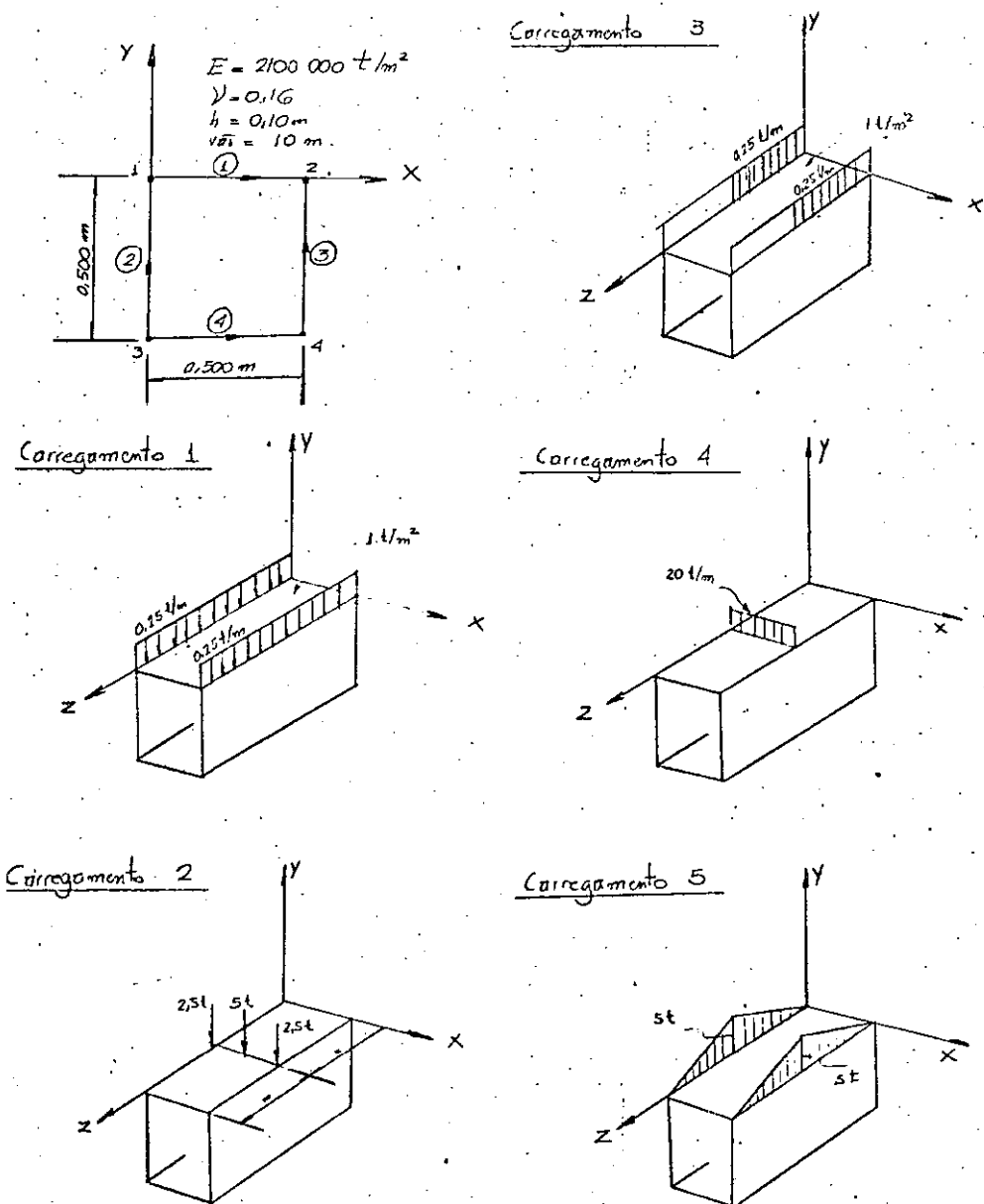


Fig. 43

Exemplo 2 - Testes do Programa PLACA

O objetivo desta série de testes visava a se estudar, em separado, o caso de uma placa sujeita a cargas aplicadas e o caso de um painel descarregado submetido a esforços e deslocamentos prescritos nos bordos.

O modelo usado consistiu de uma placa simplesmente apoiada nos 4 bordos (Fig. 44) sujeita a duas condições de carregamento: a) carga uniformemente distribuída de 1 t/m^2 e b) carga parcialmente distribuída de mesma intensidade (de $x = 2,00\text{m}$ a $4,00\text{m}$).

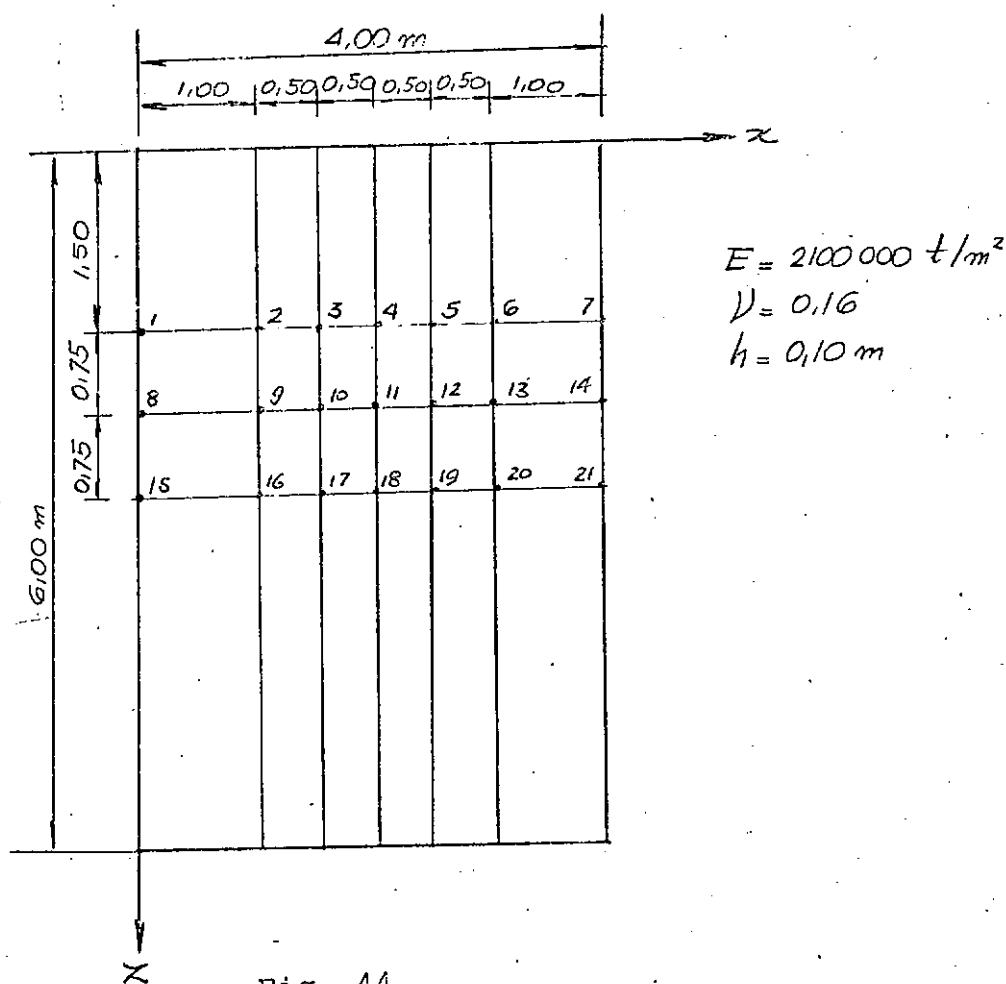


Fig. 44

Teste 1 - Momentos em tm/m

PONTOS	STRAPL (1)		PLACA (2)		BARES ^v (3)	
	M _x	M _x	M _z	M _x	M _z	M _x
1	0	0	0	0		
2	0,734	0,438	0,725	0,438		
3	0,882	0,555	0,881	0,555		
4	0,928	0,595	0,928	0,594		
5	0,882	0,555	0,882	0,555		
6	0,734	0,438	0,734	0,438		
7	0	0	0	0		
8	0	0	0	0		
9	0,904	0,461	0,915	0,459		
10	1,098	0,587	1,099	0,585		
11	1,160	0,631	1,160	0,629		
12	1,098	0,587	1,097	0,586		
13	0,904	0,461	0,915	0,459		
14	0	0	0	0		
15	0	0	0	0		
16	0,959	0,463	0,946	0,465	0,953	0,455
17	1,169	0,591	1,168	0,593		
18	1,237	0,635	1,236	0,637	1,224	0,630
19	1,169	0,591	1,169	0,593		
20	0,959	0,463	0,946	0,465		
21	0	0	0	0		

(1) Para os harmônicos 1, 3, 5, 7 e 9

(2) Para os harmônicos 1, 3 e 5

(3) Bares - pg. 168.

Teste 2 - Momentos em tm/m

PONTOS	STRAPL		PLACA (3)		BARES	
	M_z (1)	M_x (2)	M_z	M_x	M_z	M_x
1	0	0	0	0		
2	0,167	0,159	0,167	0,158		
3	0,288	0,233	0,289	0,233		
4	0,464	0,298	0,465	0,297		
8	0	0	0	0		
9	0,233	0,179	0,223	0,179		
10	0,377	0,255	0,377	0,255		
11	0,580	0,315	0,580	0,315		
15	0	0	0	0		
16	0,243	0,183	0,243	0,183	0,229	0,175
17	0,407	0,259	0,406	0,260		
18	0,618	0,317	0,619	0,319	0,612	0,315

(1) para os harmônicos 1, 3, 5, 7 e 9

(2) para os harmônicos 1, 2, 3, 4, 5, 6 7, 8 e 9

(3) para os harmônicos 1, 3, 5, 7 e 9.

Exemplo 3 - Teste do Programa CHAPA

Para aferição do programa CHAPA, considerou-se uma viga de seção retangular (0,10 x 0,60m) com 6,00m de vão e sujeita a uma carga uniformemente distribuída de 2,5 t/m. Com o emprego do programa STRAPL determinaram-se os deslocamentos no plano da viga, para o bordo superior e inferior, correspondentes aos harmônicos 1, 3, 5, 7 e 9. Estes serviram a seguir de entrada para o programa CHAPA, cujos resultados acham-se transcritos no quadro abaixo:

PONTOS	CHAPA (2)			STRAPL (2)	RES. MAT.	
	N_x	N_z	N_{zx}	N_z	N_z	N_{zx}
1	-2,705	202,742	0,014	-2,666	187,5	0
2	-2,488	134,613	-5,698	-2,483	125,0	-5,208
3	-1,949	67,171	-9,118	-1,979	62,5	-8,333
4	-1,255	0,006	-10,266	-1,322	0	-9,375
5	-0,032	- 67,162	-9,140	-0,674	-62,5	-8,333
6	-0,032	-134,622	-5,726	-0,179	-125,0	-5,208
7	-0,180	-202,795	0,018	0,009	-187,5	0

Obs.: (1) Os valores de N_x e N_z foram calculados em $Z/L = 0,50$ e os de N_{zx} em $Z/L = 0,75$

(2) para os harmônicos 1, 3, 5, 7 e 9.

Exemplo 4 - Tensões Locais em Vigas de Rolamento

Com a finalidade de se demonstrar a versatilidade dos programas quando dirigido ao projeto de vigas de rolamento, escolheu-se para exemplo a viga de rolamento dimensionada para os semi-pórticos rolantes n 316 e 317, existentes no Pátio de Placas da Companhia Siderúrgica Nacional. As características da viga e o trem-tipo do aparelho de levantamento acham-se descritos na Fig. 45A.

O objetivo principal desta análise é verificar a validade dos valores fornecidos para a tensão de flexão longitudinal da mesa superior estabelecido pela AISE # 13, uma vez que as demais normas relativas a vias de rolamento são omissas quanto a este tipo de solicitação e, como veremos a seguir, o emprego errôneo da equação fixada pela norma supracitada poderá conduzir a resultados contra o lado da segurança.

Segundo a AISE # 13 a tensão local de flexão longitudinal da mesa superior (f_{b_w}) é dada por:

$$F_{b_w} = \frac{P \cdot t_f}{8 (I_R + I_f)} \sqrt[4]{2 (I_R + I_f) \frac{h}{t}}$$

onde:

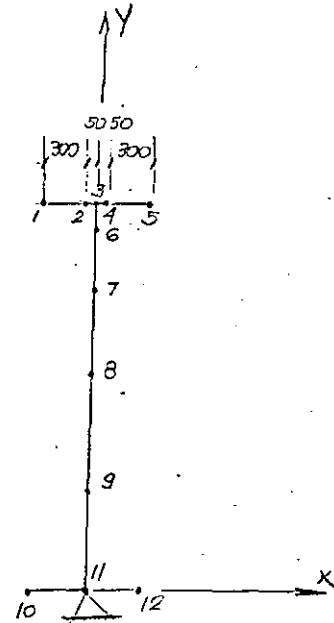
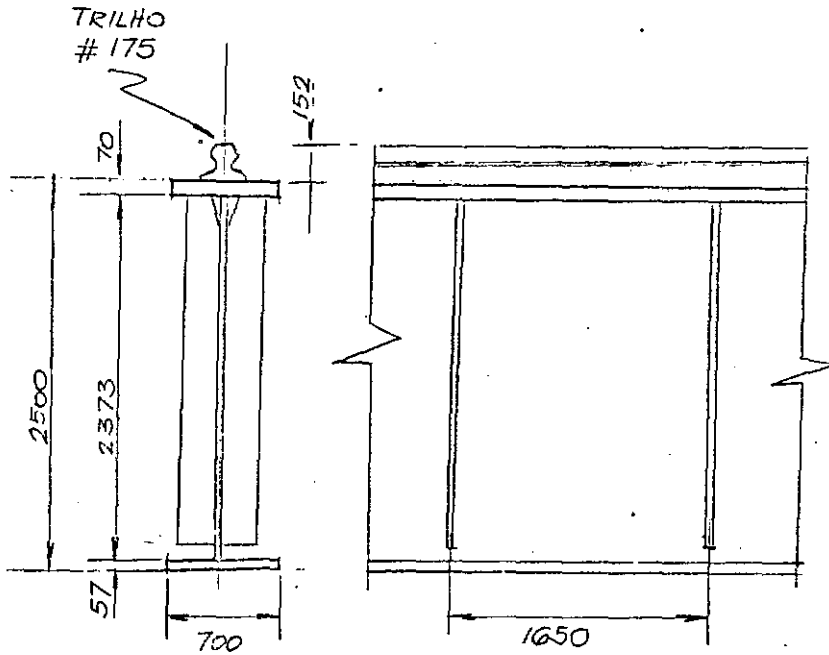
P = reação vertical de roda

I_R = momento de inércia do trilho

I_f = momento de inércia da mesa superior

h = distância livre entre mesas

tw = espessura da alma.

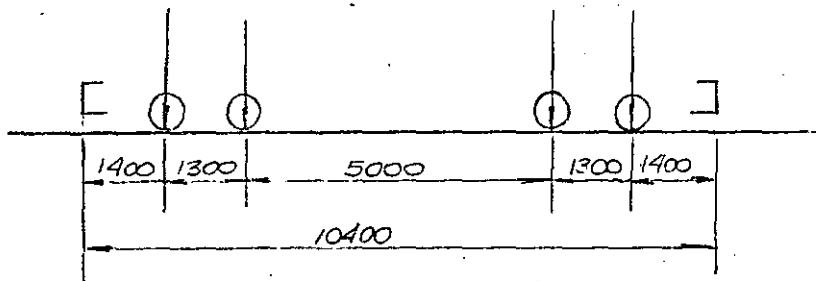


Pontes 316 e 317
Cap. 115 t

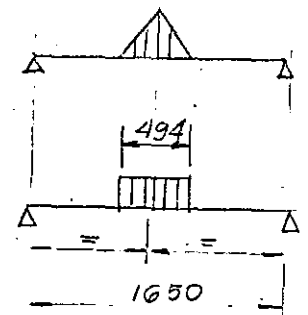
$$R_{max} = 68 t$$

$$\phi = 1,25$$

(b)



(a)



(c)

Fig. 45

Para o exemplo em questão, tem-se:

$$fb_w = \frac{85000 \times 7}{8 \times 4923} \sqrt[4]{2 \times 4923 \times \frac{237,3}{1,6}} = 525 \text{ kg/cm}^2$$

Utilizou-se a discretização abaixo (Fig.45B) para um vão igual a 1,65m correspondente ao espaçamento entre enrijecedores transversais e, adicionalmente, impôs-se uma restrição aos deslocamentos verticais no nó 11 a fim de inibir a flexão global deste trecho da viga.

O próximo passo foi o de se representar a reação do trilho sobre a face da mesa superior e, neste caso, utilizou-se para o cálculo do comprimento de distribuição (l) a expressão da norma russa que fornece valores bem próximos da DIN4132.

Segundo MUKHANOV, tem-se:

$$l = 3,25 \sqrt[3]{\frac{I_r + I_f}{t_w}} = 3,25 \sqrt[3]{\frac{4923}{1,6}} = 47,3 \text{ cm}$$

Segundo a DIN4132:

$$l = \frac{1}{0,30} \sqrt[3]{\frac{1,15 I_f + I_r}{t_w}} = \frac{1}{0,30} \sqrt[3]{\frac{5223}{1,6}} = 49,4 \text{ cm}$$

De posse deste comprimento de distribuição, consideram-se dois tipos de carregamentos conforme a Fig.45C, onde a princípio o primeiro corresponde ao caso do contato direto entre o tri

lho e a mesa superior. Convém ressaltar aqui que a distribuição se faz somente no sentido longitudinal que é a hipótese normalmente adotada.

Empregou-se para análise desta estrutura os 5 primeiros harmônicos ímpares, respectivamente, 1, 3, 5, 7 e 9 e de posse dos resultados para os deslocamentos Y nas juntas 1 e 3 e os momentos M_z nos bordos dos elementos 1 (junta 1) e 2 (junta 3), processou-se o programa PLACA para determinação dos momentos fletores longitudinais e transversais em diversos pontos da aba superior.

Os valores máximos das tensões devidas aos momentos fletores locais longitudinais na mesa, de acordo com o tipo de distribuição foram:

- para a distribuição triangular:

$$\sigma = \frac{6 \times 4,40066}{0,070^2} = 5389 \text{ t/m}^2 \approx 539 \text{ kg/cm}^2$$

- para a distribuição retangular:

$$\sigma = \frac{6 \times 1,64700}{0,070^2} = 2851 \text{ t/m}^2 = 265 \text{ kg/cm}^2$$

Com base neste exemplo, pode-se constatar:

a - a grande sensibilidade dos picos de tensão de flexão quanto a forma de distribuição da pressão do trilho sobre a mesa superior ;

b - a presença de flexão transversal da mesa superior mesmo quando se admite a distribuição de pressão referida acima como linear e centrada com a alma.

Esta atinge valores expressivos, de mesma ordem de grandeza da flexão longitudinal investigada, o que contribui para tornar mais crítico o estado de solicitações nas soldas de ligação da mesa superior com a alma.

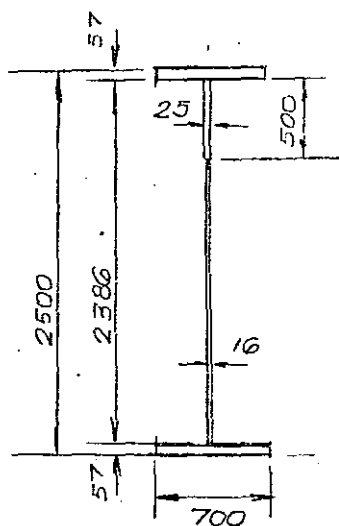
Desta forma, as soldas ficam sujeitas a tração segundo duas direções ortogonais nas regiões próximas aos apoios onde as tensões longitudinais de compressão pouco contribuem para alterar o estado de tração reinante.

Convém ainda ressaltar que, para este tipo de solicitação, o número de ciclos é dado pelo correspondente a solicitação global multiplicado pelo número de rodas do trem-tipo, o que propicia ainda mais a formação de fissuras de fadiga.

Para analisar o emprego da fórmula da AISE #13 em vigas de rolamento de perfil mais complexo, foram consideradas duas alternativas, de aproximadamente mesmo peso, para o modelo inicial, conforme mostrado nas Figs. 46 e 47.

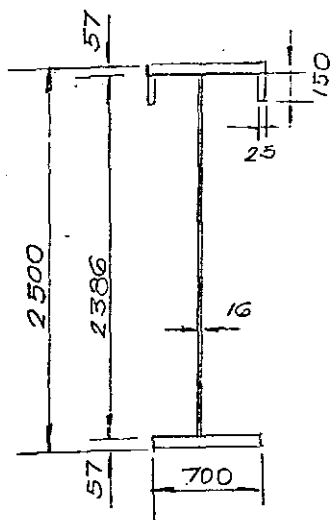
Na primeira alternativa reduziu-se a espessura da mesa superior e deu-se uma sobre-espessura no trecho superior da alma.

Neste caso, a utilização da fórmula da AISE #13 já se torna controvertida, uma vez que não se tem uma espessura uniforme na alma, conseqüentemente a relação h/t deixa de ser única. Assim



$$\left. \begin{aligned} I_f &= 1080 \text{ cm}^4 \\ I_R &= 2922 \text{ cm}^4 \end{aligned} \right\}$$

Fig. 46



$$I_f = 9249 \text{ cm}^4$$

Fig. 47

sim sendo, para fim de se fixar o intervalo provável do valor desta tensão, tomou-se:

$$\sigma_{\max} = \frac{85000 \times 5,7}{8 \times 4002} \sqrt[4]{2 \times 4002 \times \frac{2386}{16}} = 500 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{\min} = \frac{85000 \times 5,7}{8 \times 4002} \sqrt[4]{2 \times 4002 \times \frac{2386}{25}} = 447 \text{ kg/cm}^2$$

Adotando-se para l e p:

$$l = 3,25 \sqrt[3]{\frac{4002}{2,5}} = 38 \text{ cm}$$

$$p = \frac{2 \times 85000}{0,38} = 447 \text{ t/m}$$

Obteve-se pela utilização sucessiva dos programas STRAPL e PLACA: $\sigma_{\max} = 536 \text{ kg/cm}^2$, fora portanto dos limites pré-estabelecidos. E novamente para se ilustrar a sensibilidade quanto ao comprimento l se tomarmos $l = 47,3$ chegaremos a $\sigma_{\max} = 432 \text{ kg/cm}^2$.

Uma outra alternativa estudada, que é frequentemente utilizada na prática, foi a da mesa superior enrijecida (Fig.47).

Pela AISE #13 tem-se:

$$\sigma_{\max} = \frac{85000 \times 5,7}{8 \times 12171} \sqrt{2 \times 12171 \times \frac{2386}{16}} = 217 \text{ kg/cm}^2$$

E em seguida, tomou-se para l e p:

$$l = 3,25 \sqrt[3]{\frac{12171}{16}} = 63,9 \text{ cm}$$

$$p = \frac{2 \times 85000}{0,639} = 266 \text{ t/m}$$

Neste caso encontrou-se $\sigma_{\max} = 418 \text{ kg/cm}^2$ que demonstra uma diferença apreciável entre o comportamento real e o esperado quanto a contribuição dos enrijecedores longitudinais.

IX - CONTRIBUIÇÕES AO ESTUDO DE TENSÕES LOCAIS COM O AUXÍLIO DA
TEORIA DAS ESTRUTURAS PRISMÁTICAS LAMINARES

Ao se introduzir a teoria das estruturas prismáticas laminares na análise de tensões locais em vigas de rolamento, tivemos a oportunidade de constatar, com base nos ensaios descritos anteriormente, que havíamos sido felizes na escolha do tratamento empregado.

Dada a impossibilidade de se esgotar toda a gama de recursos posta à disposição do usuário com o advento destes programas, cabe-nos fazer uma panorâmica quanto as contribuições à matéria que poderão ser obtidas pela utilização do método exposto.

Desta forma pode-se partir para:

1. A calibração das fórmulas propostas por entidades normativas de forma a se delimitar os seus campos de utilização.
2. O estudo do comportamento global da via de rolamento em presença das reações horizontais e verticais da ponte rolante. Para este fim, substitui-se os elementos vazados (treliça vertical auxiliar e treliça horizontal inferior de contenção) por elementos planos de espessura equivalente, conforme o tipo de treliçado.

Fica desta forma eliminada a determinação da largura efetiva da mesa superior que é necessária quando se utiliza o método de cálculo convencional.

3. A otimização das disposições construtivas para se combater e ficientemente as solicitações locais.
 4. O estudo da interação entre as diversas solicitações locais que advem da instalação excêntrica do trilho.
 5. O estudo mais preciso das reações do trilho sobre a mesa para se cobrir a deficiência do cálculo do comprimento de distribuição quando se tem uma viga de geometria mais complexa. Assim sendo, o sistema estrutural passará a incorporar o trilho e coloca-se na interface do patim do trilho com a mesa um elemento dotado de liberações nas duas extremidades para forças longitudinais, para melhor caracterizar o comportamento físico do modelo.
- É óbvio que nas regiões próximas dos apoios, os resultados serão falseados, o que não invalida a solução proposta.

Fugindo do objetivo de nosso trabalho, veremos que existem inúmeras outras áreas de atuação para as quais o estudo em voga é perfeitamente aplicável.

IX - CONCLUSÃO

A maior dificuldade enfrentada por este tipo de solução, assim como os demais métodos existentes, refere-se à participação do trilho na redução das tensões locais em decorrência das condições de vinculação, conforme exposto nos itens precedentes.

Portanto a limitação do programa está condicionada a representação precisa da reação do trilho sobre a mesa superior que se acha perfeitamente estudado para o caso da reação vertical da roda atuando isoladamente, porém não é tão categórica quanto a anterior em presença de cargas laterais pela grande diversificação de meios de se garantir a estabilidade lateral do trilho.

Face ao exposto acima, recomenda-se no estágio atual de conhecimento, a conjugação do emprego de detalhes adequados que atenuem os grandes picos de tensões locais associada ao julgamento criterioso da eficiência dos mesmos pela utilização do método apresentado.

NOTAÇÕES

$\{AM\}_r$ - ações nas extremidades do elemento r , referidas ao sistema local.

$\{AM_i\}_r$, - ações, respectivamente, nas extremidades i e j do elemento r , referidas ao sistema local.

$\{AS\}_r$ - ações nas extremidades do elemento r , referidas ao sistema global.

$\{AS_i\}_r$, - ações, respectivamente, nas extremidades i e j do elemento r , referidas ao sistema global.

$\{DM\}_r$ - deslocamentos nas extremidades do elemento r , referidos ao sistema local.

$\{DM_i\}_r$, - deslocamentos, respectivamente, nas extremidades i e j do elemento r , referidos ao sistema local.

$\{DS\}_r$ - deslocamentos nas extremidades do elemento r , referidos ao sistema global.

$\{DS_i\}_r$, - deslocamentos, respectivamente, nas extremidades i e j do elemento r , referidos ao sistema global.

$[R]$ - matriz de rotação.

$[R_T]$ - matriz de rotação transformada.

- $[SM]_r$ - matriz de rigidez do elemento r referido ao sistema local.
- $[SMR]_r$ - matriz auxiliar para transformação da matriz de rigidez do elemento r referida ao sistema local em matriz de rigidez relativa ao sistema global.
- $[SMD]_r$ - matriz de rigidez do elemento r referida ao sistema global.
- $\{A\}_i$ - ações externas aplicadas diretamente na junta i .
- $\{AML\}_r$ - ações de fixação nos bordos para o elemento r carregado, referidas ao sistema local.
- $\{AE\}_i$ - ações equivalentes nas juntas.
- $\{AC\}_i$ - ações combinadas nas juntas.
- $\{AMD\}_r$ - ações de fixação nos bordos para o elemento r carregado, referidas ao sistema global.
- $[SJ]$ - matriz de rigidez global da estrutura.
- $[DJ]$ - deslocamentos das juntas na numeração primitiva (sistema global).
- $[S]$ - submatriz de rigidez da estrutura (sistema global) correspondente aos deslocamentos segundo as direções livres.

- $[S_{RD}]$ - submatriz de rigidez da estrutura (sistema global) que contém as ações correspondentes as direções restringidas devidas a deslocamentos unitários segundo as direções livres.
- $[S_{DR}]$ - submatriz de rigidez da estrutura (sistema global) que contém as ações correspondentes as direções livres devidas a deslocamentos unitários segundo as direções restringidas.
- $[S_{RR}]$ - submatriz de rigidez da estrutura (sistema global) que contém as ações correspondentes as direções restringidas devido a deslocamentos unitários segundo as direções restringidas.
- $\{D\}$ - deslocamentos segundo as direções livres.
- $\{DR\}$ - deslocamentos segundo as direções restringidas.
- $\{AD\}$ - ações combinadas nos nós segundo as direções livres.
- $\{AR\}$ - reações nos apoios.
- $\{ARL\}$ - ações segundo as direções restringidas devido a cargas aplicadas na estrutura.

BIBLIOGRAFIA

1. ABNT - "NB-283: Aparelhos de Levantamento - Norma para Cálculo". Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, 1976.
2. AISC - "Manual of Steel Construction". American Institute of Steel Construction. Chicago, 8th Ed., 1980.
3. AISE #6 - "Specification for Electric Overhead Traveling Cranes for Steel Mill Service". Association of Iron and Steel Engineers, 1969.
4. AISE #13 - "Specifications for the Design and Construction of Mill Buildings". Standard nº 13, 1969.
5. _____ - "Guide for the Design and Construction of Mill Buildings". Association of Iron and Steel Engineers, 1979.
6. ASMIS, G.J.K. "Wheel Load Stress Concentrations on Crane Runway Girders". Proceeding of the National Structural Engineering Conference Methods of Structural Analysis at the University of Wisconsin. Published by the ASCE, 1976, pp. 1005-1022.
7. BASILE, A. "Pression Locale sur l'Âme d'une Poutre de Roulement". Construction Métallique nº 13, 1973, pp.52-53.

8. BEHUL, V. "Incrinature per fatica nelle anime delle vie di corsa per gru". Costruzione Metalliche n° 1, 1970.
9. BEVILACQUA, L. "Estruturas Prismáticas Laminares". Monografia apresentada à E.N.E., Rio de Janeiro, 1965.
10. BIERETT, G. "Berechnung un Gestaltung der Kranbahnen". Stahl un Eisen, Vol. 86, nr 1, Januar, 1966, pp. 22-33.
11. _____. "Hinweise zur Ausführung von betriebsfesten Kran-und kranbahnträger für den Schwebetrieb, besonders für Hüttenkrananlagen". Stahl und Eisen, Vol. 22, nr 2, Januar, 1979, pp. 63-70.
12. BIOT, M.A. "Bending of an infinite beam on an elastic foundation". Jour. App. Mech., 1937, pp. A1-A7.
13. BITTNER, F. "Platten und Behälter". Springer-Verlag, Wien, 1965.
14. CASTRILLÓN, R.C. "Análisis Elástico de Estructuras Prismáticas Laminares - Programa para Computador Digital en Fortran IV". Tese de Mestrado, PUC, Rio de Janeiro, novembro 1970.
15. CHU, K. & DUDNIK, E. "Concrete Box Girder Bridges Analyzed as Folded Plates". American Concrete Institute Publication SP-23, First International Symposium on Concrete Design, Paper SP-23-13, 1969, pp. 221-246.

16. CMAA #70 - "Specifications for Electric Overhead Traveling Cranes". Crane Manufacturers Association of America, Inc. Pittsburgh, 1971.
17. CTICM - "Recommandations pour le Calcul et l'Exécution des Chemins de Roulement de Ponts Roulants". Centre Technique Industriel de la Construction Métallique, 1973.
18. DANIELI, D. "Lavorazione e montaggio - Relazione generale". Costruzione Metalliche n° 3, ano XXXII, maggio-giugno, 1980 pp. 163-164.
19. DeFRIES-SKENE, A. & SCORDELIS, A.C. "Direct Stiffness Solution for Folded Plates". Journal of the Structural Division, ASCE, Vol. 90, n° St4, Agosto 1964.
20. DEMO, D.A. & FISHER, J.W. "Analysis of Fatigue of Welded Crane Runway Girders". Journal of the Structural Division - Proc. ASCE, Vol. 102, n° ST5, May 1976, pp.919-933.
21. DIAZ, B.E. "Manual de Utilização do Programa SPLA2". Antonio A. Noronha Serviços de Engenharia S/A. Rio, 1969.
22. DIN - "DIN 15003 - Lifting Appliances - Load Suspending Devices, Loads and Forces - Definitions". Deutsches Institut für Normung, Berlin, 1970.
23. ____ - "DIN 15018 - Cranes - Principles for Steel Structures Stress Analysis". Deutsches Institut für Normung. Berlin, 1974.

24. DOVJENKO, A.S. "Pritchny rasrouchenija stajou zoni svarnykh balok". Materialy po metallicheskim constroukciám, Moscou, 1954.
25. DUVAROV, B.I. & EGLESKALN, I.S. "Kvoprossov outchéts vliania sméchténia podkranovovo relsa s ossi balki (Sur la considération de l'excentricité du rail de roulement par rapport à l'axe de la poutre)". Promychlenoé Stroitelstvo n° 10, 1966, pp. 18-21.
26. ENSIDESA - "Manual para Cálculo de Estructuras Metálicas", Tomo II. Empresa Nacional Siderúrgica S/A, Madrid, 1975.
27. FEM - "Rules for the Design of Hoisting Applicances - Section I, Heavy Lifting Equipment". Federation Europeene de la Manutention. Paris, 2a. ed., 1970.
28. FOUCRIAT, J.C. "Torsion Locale des Semelles Supérieures des Poutres de Roulement". Construction Metallique n° 4, 1977, pp. 3-28.
29. GERE, J.M. & WEAVER, W. "Analysis of Framed Structures". Princepton, Van Nostrand, 1965.
30. GIRKMAN, K. "Flachentragwerke". Springer Verlag, Wien, 1959, pp. 68-74.
31. GOLDBERG, J.E. & LEVE, H.L. "Theory of Prismatic Folded Plate Structures", AIPC Zurich n° 87, Vol. 17, 1957.

32. GREINER, H.G. "Crane Handbook". Whiting Co., 3rd. Edition, Illinois, 1967.
33. HARRISON, J.D. "A Communications Problem Misinterpreting Research Information". Metal Construction and British Journal, May, 1970, pp. 211-213.
34. IFFLAND, J.S.B. "Folded Plate Structures". Journal of the Structural Division - Proc. ASCE, Vol. 105, n° ST1, January 1979, pp. 111-123.
35. KINEWSKIJ, A.I.; GUBIN, L.A.; BERDISTSCHEWSKIJ, M.M. & SEREDA, D.W. "Erhöhung der Lebensdauer von Kranbahnträgern in Betrieben mit schweren Betriebsbedingungen" (orig.rus so) Promyshlennoe stroitel'stro (1976) H.C S38-40, tradu zido no DER STAHLBAU (1978 - n.6, pp. 188-189.
36. KRISTEK, V. "Theory of Box Girders". John Wiley & Sons. - Chicester, 1979, pp. 77-128.
37. LOCHSCHMIDT, D. "Exzentrische Belastung der Laufarmaturem und Schienen von Rollschützen". Der Stahlbau 30, 1961, H.3, S.83.
38. LORINGHOVEN, L. "Torsion Locale des Membres Supérieurs de Chemins de Roulement". Construction Métallique, n° 1 e 2, 1964, pp. 13-18 e 35-41.

39. _____. "Poutres de Chemins de Roulement - Sollicitations et Classification des Contraintes". Construction Métallique, n° 2, 1967, pp. 9-23.
40. _____. "Les Problèmes de Torsion des Chemins de Roulement". Construction Métallique, n° 2, 1971, pp. 40-47.
41. _____. "Calcul de la Pression Locale des Galets Transmise au Chemin de Roulement". (Comparaison des méthodes employées en U.R.S.S. et en Allemagne Fédérale). Construction Métallique, n° 3, 1973, pp. 49-51.
42. _____. "Contraintes et Certains Aspects Constructifs des Chemins de Roulement". Construction Métallique, n° 1, 1974, pp. 81-86.
43. _____. "Sollecitazione e alcuni aspetti costruttivi delle vie di corsa delle gru". Costruzione Metalliche, n° 4, 1975.
44. MAAS, G. "Investigations Concerning Cransway Girders". Iron and Steel Engineer, March 1972, pp. 49-58.
45. MAREK, P.J. & DANIELS, J.H. "Behavior of Continuous Crane Rails". Journal of Structural Division - ST4, April, 1971, pp. 1081-1095.

46. MATEESCO, D. & BALUT, N. "Efforts sur les Poutres de Roulement - Poutres a Âme Pleine et Contreventement Horizontal a Treillis". Construction Métallique
47. MITJUGOV, E.A. "Torsion de la semelle supérieure des poutres de chemins de roulement des ponts roulants". Konstruktsiya Promyshl, 1969 (en russe).
48. MOLYNEUX, G. & MOLINEUX, G. "Crane Rails and their installation". Iron and Steel Engineer, April 1978, n° 4, pp. 48-51.
49. MUKHANOV, K. "Estruturas Metálicas". Editora MIR. Moscou, 1980.
50. NASCE, V. & ZORGNO, A.M.T. "Analisi teorica e Sperimentale delle Sollecitazioni locali nelle travi di scorrimento". Costruzioni Metalliche n° 4, 1976, pp. 192-209.
51. NEWMARK, N.M. "A Distribution Procedure for the Analysis of Slabs Continuous over Flexible Beams". Reprinted from University of Illinois Engineering Experiment station, Bulletin N° 304, Urbana, Ill. in "Selected Papers by Nathan M. Newmark - Civil Engineering Classes". American Society of Civil Engineers, New York, 1976, pp. 59-170.
52. OXFORT, J.K. "Beitrag zum exzentrischen Lastrangriff an Kranbahnträgern". Der Stahlbau, juillet 1963, H.7, pp. 213-216.

53. _____. "Zur Beanspruchung der Obergurte Vollwandiger Kranbahnträger durch Torsionsmomente und durch Querkranftbiengung unter dem örtlichen Radlastangriff", Der Stahlbau, 1963, H.12, pp. 360-367.
54. PARKES, E.W. "The Stress Distribution near a Loading Point in a Uniform Flanged Beam". Phil.Trans.Royal Soc. London, Series A, Vol. 244 (1951-1952).
55. REEMSNYDER, H.S. & DEMO, D.A. "Fatigue Cracking in Welded Crane Runway Girders: Causes and Repair Procedures". Iron and Steel Engineer, April 1976, n° 4, pp. 52-56.
56. RIEVE, I. "Stabilität I formiger Querschnitte unter der örtlichen Lasteinbeitung". Bautechnik, Archiv. - H.7, Berlin, Wilhelm Ernest n. Shon, 1953.
57. SENIOR, A.G. "New Methods of Mouting Crane Rails on Overhead Runways ." Iron and Steel Engineer Year Book, 1961, pp- 570-572.
58. _____ & GURNEY, T.R. "The Design an Service Life of the Upper Part of Welded Crane Girders". The Structural Engineer, Vol. 41, n° 10, October, 1963, pp.301-312
59. SILVA, T.F.C. "Estruturas Prismáticas Laminares - Estudo Teórico-Experimental". Tese de Mestrado, COPPE-UFRJ, Rio de Janeiro, dezembro 1969.

60. STEINHARDT, O. & SCHULZ, U. "Zur Stegbeanspruchung zentrisch balasteter Kranbahnträger bei Verwendung elastisch gebetteter Kranschienen". Der Bauingenieur, V.44 H8, 1969 pp. 293-296.
61. STOLZ, J.J. "Crane Wheel Tread Contours". Iron and Steel Engineer. October 1952, n° 10, pp. 101-106.
62. TYLER, R.G. "The Plane-Frame Method of Analysis for Lattice Girders". Journal of the Iron and Steel Institute. Vol. 190, Part 2, October 1958, pp. 187-196.
63. WEAVER, W. "Computer Programs for Structural Analysis". D. Van Nostrand Co. Princeton, 1967.
64. VÖGELE, H.G. "Ermittlung der Spannungen im Steg Vol I - Trägern im Lasteinleitungsbereich bei Lastrangriff an Gurten". Der Stahlbau - H8, August 1972.
65. ZUURBIER, G.W. "Lessons from structural failures". Iron and Steel Engineer, January, 1980, pp. 49-58.
66. BARES, R. "Tables for the Analysis of Plates, Slabs and Diagrams based on the Elastic Theory". Bauverlag GmbH, Wiesbaden und Berlin. Germany. 1979.
67. MERRISON Committee. "Inquiry into the Basis of Design and Method of Erection of Steel Box Girder Bridges". Her Majesty's Stationery Office - London. 1973.

APÊNDICE A

MANUAL DE UTILIZAÇÃO

DADOS DE ENTRADA

PROGRAMA STRAPL

A - Cartão de Alternativas para Impressão (6I2)

Este cartão informa quais as chaves que serão acionadas na execução de um determinado problema. Para acionamento das mesmas usaremos o seguinte código:

0 - chave ligada

1 - chave desligada.

Cols. 1-2 : Chave 1, usada para depuração

Cols. 3-4 : Chave 2, imprime as matrizes de rigidez dos elementos

Cols. 5-6 : Chave 3, calcula como quadro

Cols. 7-8 : Chave 4, imprime as matrizes no formato longo^(*)

Cols. 9-10 : Chave 5, imprime resultados parciais

Cols. 11-12 : Chave 6, imprime o nome das subrotinas percorridas

Observação:

(*) Quando acionada junto com a Chave 2.

B - Cartão de Título (18A4)

Cols. 1-72 : Título do problema, quaisquer caracteres alfa-numéricos - XNOME

C - Cartão dos Dados Básicos da Estrutura (4I10, F10.0, I10, 2F10.0)

Cols. 1-10 : Número de elementos (máx 30) - NM

Cols. 11-20 : Número de juntas (máx 20) - NJ

Cols. 21-30 : Número de juntas com qualquer tipo de restrição - NRJ

Cols. 31-40 : Número de elementos com qualquer tipo de liberação NML

Cols. 41-50 : Vão - XL

Cols. 51-60 : Número de tipos de materiais - NMT

Cols. 61-70 : Módulo de elasticidade - E^(*)

Cols. 71-80 : Coeficiente de Poisson - XMUE^(*) ^(**)

Observações:

(*) Sã deverão ser usados se NMT = 1

(**) Concreto $\nu = 0,16$

Aço $\nu = 0,30$

D - Tabela de Materiais (I10, 4F10.0)

Usado somente se NMT > 1 especificado no cartão C.

Cols. 1-10 : Número do material - J

Cols. 11-20 : Módulo de elasticidade para o comportamento de placa - EP (J)

Cols. 21-30 : Coeficiente de Poisson para o comportamento de placa - XMUEP (J)

Cols. 31-40 : Módulo de elasticidade para o comportamento de chapa - EM (J)

Cols. 41-50 : Coeficiente de Poisson para o comportamento de chapa - XMUEM (J)

Observação:

Serão fornecidos tantos cartões quantos forem o número de tipos de materiais (NMT) especificados no cartão C.

E - Tabela de Coordenadas nas Juntas (I10, 2F10,0)

Cols. 1-10 : Número da junta - J

Cols. 11-20 : Coordenada X - X (J)

Cols. 21-30 : Coordenada Y - Y (J)

Observação:

Serão fornecidos tantos cartões quantos forem o número de juntas (NJ) especificado no cartão C.

F - Tabela de Incidência dos Elementos

Serão fornecidos a seguir tantos cartões quantos forem os elementos (NM) especificado no cartão C.

F1 - Como quadro (Chave 3 no Cartão A ligada) (3I10, 2F10.0)

Cols. 1-10 : Número do elemento - J

Cols. 11-20 : Junta inicial - JJ (J)

Cols. 21-30 : Junta final - JK (J)

Cols. 31-40 : Área da seção transversal - AX (J)

Cols. 41-50 : Mom. de inércia da seção transversal - XIZ (J)

F2- Como E.P.L. (Chave 3 do Cartão A desligada) (3I10, F10.0)

Cols. 1-10 : Número de elemento - J

Cols. 11-20 : Junta inicial - JJ (J)

Cols. 21-30 : Junta final - JK (J)

Cols. 31-40 : Espessura - H (J)

Observação:

Este cartão só deve ser usado quando NMT = 1 especificado no cartão C.

F3 - Como E.P.L. (Chave 3 do Cartão A desligada) (4I10, 2F10.0)

Cols. 1-10 : Número do elemento - J

Cols. 11-20 : Junta inicial - JJ (J)

Cols. 21-30 : Junta final - JK (J)

Cols. 31-40 : Tipo de material - MAT (J)

Cols. 41-50 : Espessura do elemento para o comportamento de placa - (J)

Cols. 51-60 : Espessura do elemento para o comportamento de chapa - HM (J)

Observação:

Este cartão só deve ser usado quando NMT > 1 especificado no cartão C.

G - Tabela de Restrições das Juntas (5I10)

Esta tabela é fornecida se NJR > 0 especificado no cartão C, neste caso haverão NRJ cartões destes.

Quando houver restrição numa junta a distinção entre as direções livres e restringidas é feita pelo código abaixo:

0 - direção não restringida

1 - direção restringida

Cols. 1-10 : Número da junta - J

Cols. 11-20 : Restrição na direção do deslocamento X?

Cols. 21-30 : Restrição na direção do deslocamento Y?

Cols. 31-40 : Restrição na direção do deslocamento X?

Cols. 41-50 : Restrição na direção da rotação Z?

H - Tabela de Elementos com Liberações (9I5)

Esta tabela só é fornecida se NML 0 especificado no cartão C, neste caso haverão NML cartões destes.

Código empregado neste cartão:

0 - sem liberação

1 - com liberação

Cols. 1-5 : Número do elemento - I

Cols. 6-10 : Liberação na junta inicial, na direção do deslocamento X

Cols. 11-15 : " " " " Y

Cols. 16-20 : " " " " Z

Cols. 21-25 : " " " rotação Z

Cols. 26-30 : Liberação, na junta final, na direção do deslocamento X

Cols. 31-35 : " " " " Y

Cols. 36-40 : Liberação, na junta final, na direção do deslocamento Z
Cols. 41-45 : " " " rotação Z

I - Harmônicos para Análise da Estrutura (11I5)

Cols. 1-5 : Número de harmônicos a serem usados para análise da estrutura - IQ
Cols. 6-10 : Harmônico de número de ordem 1 - MMQ (1)
Cols. 11-15 : " " " 2 - NMQ (2)
Cols. 16-20 : " " " 3 - NMQ (3)
Cols. 21-25 : " " " 4 - NMQ (4)
Cols. 26-30 : " " " 5 - NMQ (5)
Cols. 31-35 : " " " 6 - NMQ (6)
Cols. 36-40 : " " " 7 - NMQ (7)
Cols. 41-45 : " " " 8 - NMQ (8)
Cols. 36-50 : " " " 9 - NMQ (9)
Cols. 51-55 : " " " 10 - NMQ (10)

J - Número de Carregamentos a Analisar (I10)

Cols. 1-10 : Número de carregamentos a estudar - ICC

K - Identificação do Carregamento (18A4)

Cols. 1-84 : Título do carregamento, quaisquer caracteres alfa-numérico - XNOME.

L - Dados Básicos do Carregamento (16I5)

Cols. 1-5 : Tipo do carregamento - NUM^(*)

Cols. 6-10 : Número de juntas carregadas - NLJ

Cols. 11-15 : Número de elementos carregados - NLM

Cols. 16-20 : Número de cartões com cargas nas juntas - NCJ

Cols. 21-25 : Número de cartões de cargas nos elementos - NCM

Cols. 26-30 : Número de harmônicos a serem utilizados pelos carregamentos - IHA

Cols. 31-35 : Número de ordem especificado no Cartão I - NOR (1)

Cols. 36-40 : " " " " NOR (2)

Cols. 41-45 : " " " " NOR (3)

Cols. 46-50 : " " " " NOR (4)

Cols. 51-55 : " " " " NOR (5)

Cols. 56-60 : " " " " NOR (6)

Cols. 61-65 : " " " " NOR (7)

Cols. 66-70 : " " " " NOR (8)

Cols. 71-75 : " " " " NOR (9)

Cols. 76-80 : " " " " NOR (10)

Observação:

(*) NUM = 1 - neste tipo de carregamento o usuário irá fornecer diretamente as amplitudes das cargas aplicadas nas juntas e das forças de fixação dos elementos carregados.

NUM = 2 - neste tipo de carregamento o programa determina as amplitudes.

M - Cargas nas Juntas^(*) (I10, 4X, A4, A2, 3F10.3)

Serão fornecidos a seguir tantos cartões quantos forem o número de cartões de cargas nas juntas NCJ especificado no cartão L.

Cols. 1-10 : Número da junta - I

Cols. 11-14 : JUNT

Cols. 15-18 : Tipo de distribuição da carga, colocar conforme o caso

UNIF - uniformemente distribuído

PARC - parcialmente distribuído

CONC - concentrado

TRIG - triangular

Cols. 19-20 : Direção da carga aplicada, colocar conforme o caso
Fx, Fy, Fz e Mz

Cols. 21-30 : Valor da carga aplicada^(**)

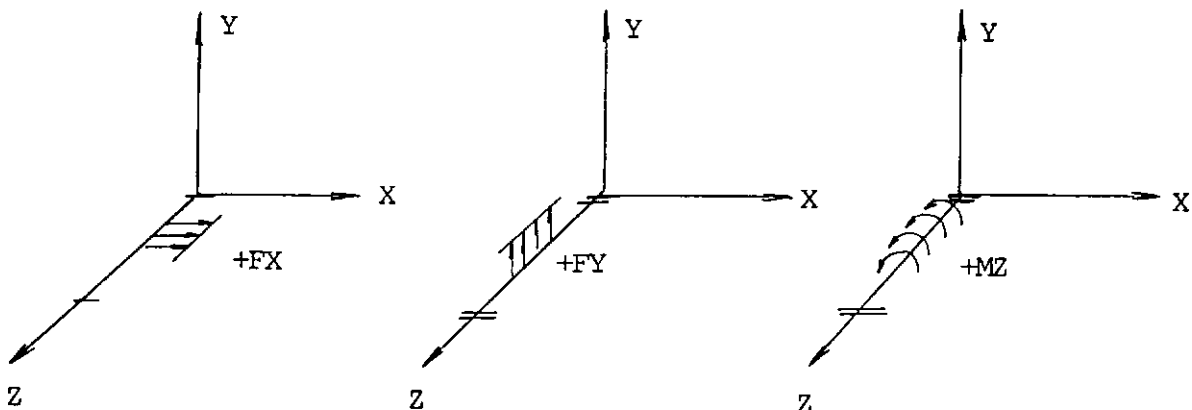
Cols. 31-40 : Distância ZA^(***)

Cols. 41-50 : Distância ZB^(***)

Observações:

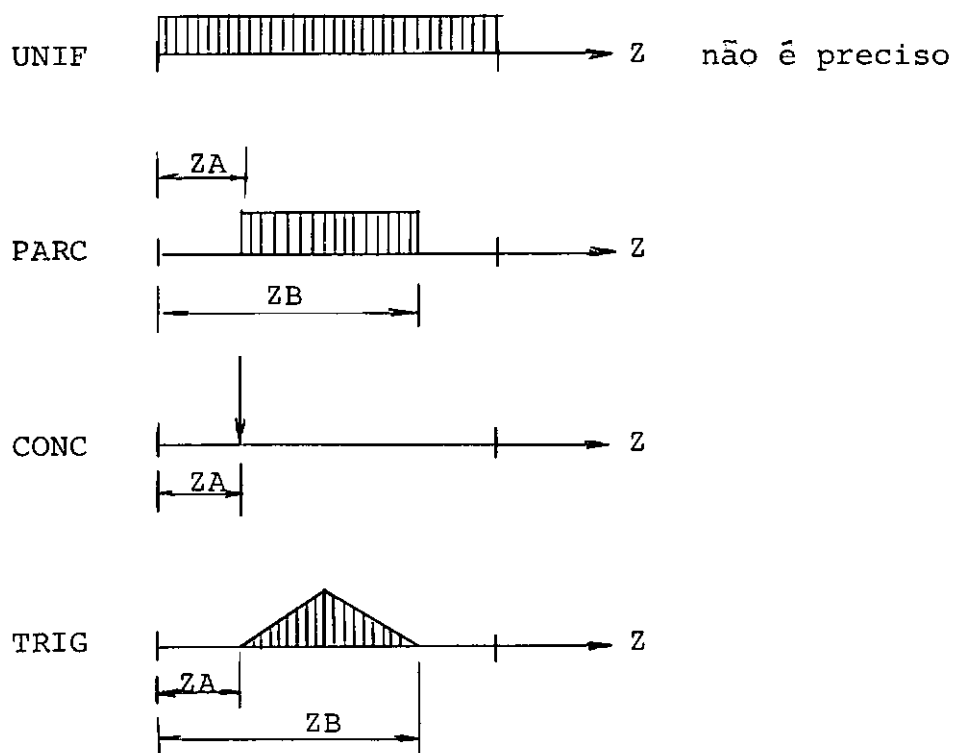
(*) Só deve ser usado quando NUM = 2 especificado no cartão L

(**) Os sentidos positivos estão indicados na Figura abaixo:



As cargas Fz no estágio atual do programa não são aceitas.

(***) Sô deverá ser usado quando necessário:



N - Cargas nos Elementos (I10, 4X, A4, A2, 5F10.3)

Serão fornecidos a seguir tantos cartões quanto for o número de cartões de cargas nos elementos NCM especificado no cartão L.

Cols. 1-10 : Número do elemento - I

Cols. 11-14 : MEMB

Cols. 15-18 : Tipo de distribuição da carga, colocar conforme o caso:

UNIF - uniformemente distribuído em todo o elemento

PARC - distribuição uniforme sobre uma certa área do elemento

CONC - concentrado

Cols. 19-20 : Direção da carga aplicada, colocar donforme o caso
FX, FY, FZ e MZ

Cols. 21-30 : Valor da carga aplicada^(**)

Cols. 31-40 : Distância ZA^(***)

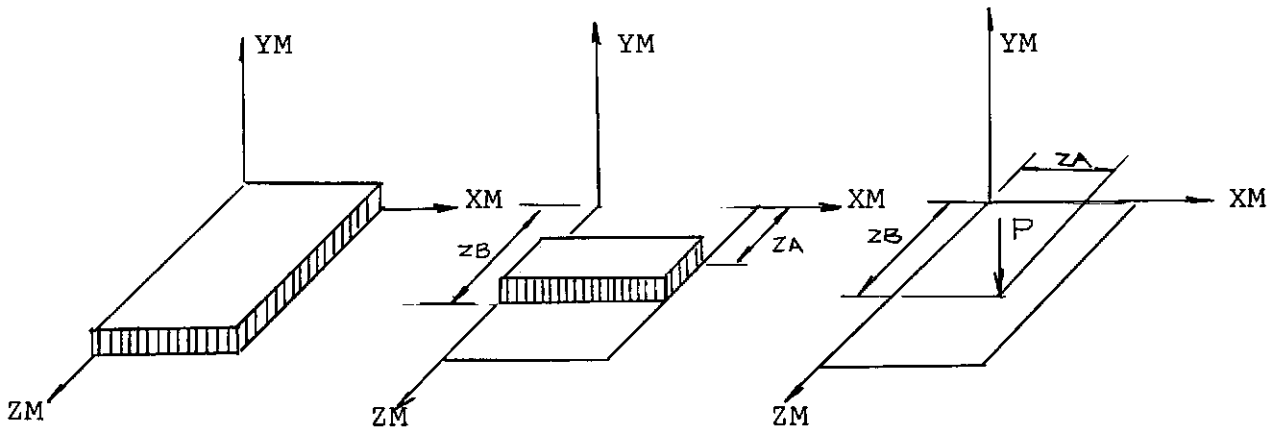
Cols. 41-50 : Distância ZB^(***)

Observações:

(*) Só deve ser usado quando NUM = 2 especificado no cartão L

(**) Os sentidos positivos são dados pelos eixos do elemento

(***) Só deverá ser usado quando necessário



No estágio atual do programa sã são aceitos os seguintes tipos de cargas: UNIFFX, UNIFFY e CONCFY.

O - Cargas nas Juntas^(*) (I10, 4F10.0)

Serão fornecidos tantos cartões quanto for o número de cartões de cargas nas juntas NCJ especificado no cartão L.

Cols. 1-10 : Número da junta - I
Cols. 11-20 : Amplitude da força no sentido X
Cols. 21-30 : Amplitude da força no sentido Y
Cols. 31-40 : Amplitude da força no sentido Z
Cols. 41-50 : Amplitude do momento no sentido Z

Observações:

(*) Só deve ser usado quando NUM = 1 especificado no cartão L.

P - Cargas nos Elementos^(*)

As cargas nos elementos são dadas em termos das forças de fixação nos bordos, devendo ser fornecidos tantos conjuntos de cartões (dois para cada conjunto) quanto for o número de cargas nos elementos NCM especificado no cartão L

1º Cartão (I10, 4F10.0)

Cols. 1-10 : Número do elemento
Cols. 11-20 : Amplitude da força no sentido X na junta inicial
Cols. 21-30 : " " " Y " "
Cols. 31-40 : " " " Z " "
Cols. 41-50 : " do momento Z " "

2º Cartão (10X, 4F10.0)

Cols. 11-20 : Amplitude da força no sentido X na junta final
Cols. 21-30 : " " " Y " "
Cols. 31-40 : " " " Z " "
Cols. 41-50 : " do momento Z " "

Observação:

(*) Só deve ser usado quando NUM = 1 especificado no cartão L.

Q - Seções Transversais (I10, 7F10.0)

Cols. 1-10 : Número de seções^(*)

Cols. 11-20 : Coordenadas relativas Z/L das seções

Cols. 21-30 : " " "

Cols. 31-40 : " " "

Cols. 41-50 : " " "

Cols. 51-60 : " " "

Cols. 61-70 : " " "

Cols. 71-80 : " " "

Observação:

(*) Se o número de seções for superior a sete, deverão ser colocados tantos cartões quanto necessário, lembrando que os cartões seguintes a este tem formato 8F10.0.

PROGRAMA PLACA

A - Cartão de Título (18A4)

Cols. 1-72 : Título do problema, quaisquer caracteres alfa-numéricos - XNOME

B - Dados do Elemento (110, 5F10.0, 3I5)

Cols. 1-10 : Número do elemento - J

Cols. 11-20 : Vão - XL

Cols. 21-30 : Comprimento - XL2A

Cols. 31-40 : Módulo de elasticidade - EP

Cols. 41-50 : Coef. de Poisson - XMUEP

Cols. 51-60 : Espessura - HP

Cols. 61-65 : Número de cargas no elemento - NCM

Cols. 66-70 : Condição de continuidade; deixar em branco quando for analisar a placa como simples mente apoiada nos quatro bordos. Caso contrário, qualquer número inteiro.

Cols. 71-75 : Usado para depuração, bastando colocar qualquer número inteiro quando for solicitar a impressão de cálculos intermediários.

C - Cargas Aplicadas no Elemento (110.4X, A4, A2, 4F103)

Só deverão ser fornecidos se NCM>0 especificado no cartão A.

Estes cartões são análogos ao cartão N do programa STRAPL, sujeito porém às limitações e ressalvas anotadas abaixo:

Cols. 1-10 : Número do elemento - I

Cols. 11-14 : MEMB

Cols. 15-18 : Tipo de distribuição da carga, colocar conforme o caso: (*)

UNIF - uniformemente distribuído em todo o elemento

PARC - distribuição uniforme sobre uma certa área do elemento

CONC - concentrado.

Cols. 19-20 : Direção da carga aplicada, colocar $FY^{(**)}$

Cols. 21-30 : Valor da carga aplicada

Cols. 31-40 : Distância $ZA^{(***)}$

Cols. 41-50 : Distância $ZB^{(***)}$

Cols. 51-60 : Distância $ZC^{(***)}$

Observações:

(*) No estágio atual do programa só são aceitos os seguintes tipos de cargas: UNIFFY e CONCFY

(**) O sentido positivo da carga FY é dada pelo eixo Y do elemento.

(***) Só deverá ser usado quando necessário.

D - Seções Transversais (I10, 7F10.0)

Cols. 1-10 : Número de seções transversais - NSZM^(*)

Cols. 11-20 : Coordenadas relativas Z/L das seções

Cols. 21-30 : " " " "

Cols. 31-40 : " " " "

Cols. 41-50 : " " " "

Cols. 51-60 : " " " "

Cols. 61-70 : " " " "

Cols. 71-80 : " " " "

Observação:

(*) Se o número de seções for superior a sete, deverão ser colocados tantos cartões quanto necessários, lembrando que os cartões seguintes a este têm formato 8F10.0.

E - Seções Longitudinais (I10, 7F10.0)

Cols. 1-10 : Número de seções longitudinais - NSXM^(*)

Cols. 11-20 : Coordenadas relativas X/B das seções

Cols. 21-30 : " " " "

Cols. 31-40 : " " " "

Cols. 41-50 : " " " "

Cols. 51-60 : " " " "

Cols. 61-70 : " " " "

Cols. 71-80 : " " " "

Observação:

(*) Se o número de seções for superior a sete, deverão ser colocados tantos cartões quanto necessários, lembrando que os cartões seguintes têm formato 8F10.0.

F - Harmônicos para a Análise (11I5)

Cols. 1-5 : Número total de harmônicos utilizados - IHA

Cols. 6-10 : Harmônico de ordem 1

Cols. 11-15 : " " 2

Cols. 16-20 : " " 3

Cols. 21-25 : " " 4

Cols. 26-30 : " " 5

Cols. 31-35 : " " 6

Cols. 36-40 : " " 7

Cols. 41-45 : " " 8

Cols. 46-50 : " " 9

Cols. 51-55 : " " 10

G - Condições de Bordo (4F10.0)

Deverá ser fornecido um cartão deste para cada harmônico especificado no cartão F.

Cols. 1-10 : Deslocamento vertical no bordo i ($x=0$) - WI

Cols. 11-20 : Deslocamento vertical no bordo j ($x=B$) - WJ

Cols. 21-30 : Momento atuante no bordo i ($x=0$) - MI

Cols. 31-40 : Momento atuante no bordo J ($x=B$) - MJ

Os sentidos positivos dos momentos e deslocamentos aplicados nos bordos estão indicados na figura abaixo:

PROGRAMA CHAPA

A - Cartão de Título (18A4)

Cols. 1-72 : Título do problema, quaisquer caracteres alfa-numéricos - XNOME.

B - Dados do Elemento (I10, 5F10.0, I10)

Cols. 1-10 : Número do elemento - J

Cols. 11-20 : Vão - XL

Cols. 21-30 : Comprimento - XL2A

Cols. 31-40 : Módulo de elasticidade - EM

Cols. 41-50 : Coef. de Poisson - XMUEP

Cols. 51-60 : Espessura - HM

Cols. 61-70 : Usado para depuração, bastando colocar qualquer número inteiro quando for solicitada a impressão dos cálculos intermediários.

C - Seções Transversais (I10, 7F10.0)

Cols. 1-10 : Número de seções transversais - NSZM^(*)

Cols. 11-20 : Coordenadas relativas Z/L das seções

Cols. 21-30 : " " " "

Cols. 31-40 : " " " "

Cols. 41-50 : " " " "

Cols. 51-60 : " " " "

Cols. 61-70 : " " " "

Cols. 71-80 : " " " "

Observação:

(*) Se o número de seções for superior a sete, deverão ser colocados tantos cartões quanto necessários, lembrando que os cartões seguintes a este têm formato 8F10.0.

D - Seções Longitudinais (I10, 7F10.0)

Cols. 1-10 : Número de seções longitudinais - NSXM^(*)

Cols. 11-20 : Coordenadas relativas X/B das seções

Cols. 21-30 : " " " "

Cols. 31-40 : " " " "

Cols. 51-60 : " " " "

Cols. 61-70 : " " " "

Cols. 71-80 : " " " "

Observação:

(*) Se o número de seções for superior a sete, deverão ser colocados tantos cartões quanto necessários, lembrando que os cartões seguintes a este têm formato 8F10.0.

E - Harmônicos para a Análise (11I5)

Cols. 1-5 : Número total de harmônicos utilizados - IHA

Cols. 6-10 : Harmônico de ordem 1

Cols.11-15 : " " 2

Cols.16-20 : " " 3

Cols.21-25 : " " 4

Cols.26-30 : " " 5

Cols.31-35 : " " 6

Cols. 36-40 :	Harmônico de ordem	7
Cols. 41-45 :	"	" 8
Cols. 46-50 :	"	" 9
Cols. 51-55 :	"	" 10

F - Condições de Bordo (4F10.0)

Deverã ser fornecido um cartão deste para cada harmôni
co especificado no cartão E.

Cols. 1-10 :	Deslocamento U_i no bordo i ($x=0$)	- UI
Cols. 11-20 :	Deslocamento V_i no bordo i ($x=0$)	- VI
Cols. 21-30 :	Deslocamento U_j no bordo j ($x=b$)	- UJ
Cols. 31-40 :	Deslocamento V_j no bordo j ($x=b$)	- VJ

Os sentidos positivos dos deslocamentos aplicados nos
bordos estão indicados na figura abaixo:

APÊNDICE B

LISTAGEM DO PROGRAMA

```

C      SISTEMA STRAPL      VERSAO 01      COPPE/UFRJ
C
C      PROGRAMA STRAPL
C
C      ESTE PROGRAMA DESTINA-SE AO CALCULO DE
C      ESTRUTURAS PRISMATICAS LAMINARES
C
C      PREPARADO POR ALVARO F. A. MOTTA
C
C      COMMON MM,NJ,NN,E,XMUE,JJ(30),JK(30),XL2A(30),H(30),XL,CX(30),
*CY(30),IRL(30),ICRL(80),IQ,I2,IDIM,XNOME(18),ICC,IHA,MLB(30),
*Q(40),NOR(40),NUMCA,NUMOH,XN,AML(30,8),D(80),AC(80),NUM,NLJ,
*NLM,FX(20),FY(20),XMZ(20),PX(30),PY(30),JC(20),MC(30),NRJ,JRE(20),
*IPRT(6),ISAI,IENT,ICHV,JIR,NMT,PZ(30),FZ(30),IDA,NCJ,NCM,
*EP(3),XMUEP(8),EM(8),XMUEM(8),MAT(8),HP(30),HM(30),NML,LIB(30,8)
C 30 ELEMENTOS , 20 NOS , 10 HARMONICOS
      ISAI=6
      IENT=5
      DEFINE FILE 10(600,32,U,I2),11(800,80,U,I2),12(10,80,U,I2)
      DEFINE FILE 13(10,80,U,I2),14(10,160,U,I2),15(10,80,U,I2)
      DEFINE FILE 16(2,30,U,I2),17(800,80,U,I2),18(40,46,E,I2)
      DEFINE FILE 19(40,46,E,I2),20(10,160,U,I2)
      DEFINE FILE 21(10,80,U,I2),22(300,64,U,I2)
C
C      *
C      * CARTAO A
C      *
      READ(IENT,60)(IPRT(I),I=1,6)
60  FORMAT(6I2)
      CALL CHAVE
99  CALL GEDAT
      IF(JIR.EQ.111)GO TO 111
      CALL RIGEL
      CALL RIGST
      CALL TRIGS
101 CALL NUCAR
      DO 102 I=1,ICC
      CALL DACAR
      DO 103 J=1,IHA
      NUMCA=J
      CALL LEICA
      CALL REDES
103 CALL ESBOR
      CALL RESFI
102 CONTINUE
      GO TO 99
111 WRITE(ISAI,112)
112 FORMAT(1H0,' TERMINO DO PROGRAMA STRAPL')
      STOP
      END

```

```

C      SUBROTINA DADOS GERAIS DA ESTRUTURA                                SUBROTINA NUM 1
      SUBROUTINE GEDAT
      DIMENSION X(20),Y(20),XIZ(30),AX(30),MMQ(40)
      COMMON MM,NJ,NN,E,XMUE,JJ(30),JK(30),XL2A(30),H(30),XL,CX(30),
      *CY(30),IRL(80),ICRL(80),IQ,I2,IDIM,XNOME(18),ICC,IHA,MLB(30),
      *G(40),NOR(40),NUMCA,NUMOH,XN,AML(30,8),D(80),AC(80),NUM,NLJ,
      *NLM,FX(20),FY(20),XMZ(20),PX(30),PY(30),JC(20),MC(30),NRJ,JRE(20),
      *IPRT(6),ISAI,IENT,ICHV,JIR,NMT,PZ(30),FZ(30),IDA,NCJ,NCM,
      *EP(8),XMUEP(8),EM(5),XMUEM(8),MAT(8),HP(30),HM(30),NML,LIB(30,8)
      ICHV=6
      CALL RESUL
      GO TO(100,150),JIR
100  CONTINUE
      WRITE(ISAI,8970)
8970  FORMAT(' GEDAT')
150  CONTINUE

C      LEITURA E IMPRESSAO DOS DADOS GERAIS DA ESTRUTURA
C
C      *
C      *
C      *
C      *
C      *
      READ(IENT,1,END=8888)XNOME,MM,NJ,NRJ,NML,XL,NMT,E,XMUE
1  FORMAT(18A4,/,4I10,F10.0,I10,F10.0,F10.0)
      IDIM=4*NJ
      IF(NMT.NE.1)GO TO 221
      WRITE(ISAI,2)XNOME,MM,NJ,NRJ,NML,XL,E,XMUE
2  FORMAT(1H1,18A4,/,/,1H0,'CALCULO DE ESTRUTURA PRISMATICA LAMINAR',
      *///1H0,'DADOS DA ESTRUTURA',/1H,3X,'ELEMENTOS',2X,'JUNTAS',
      *' JUNT RET ELEM LIB',3X,'VAO',7X,'E',7X,'C POISSON',/1X,
      *4I10,F7.2,3X,F10.0,F10.2,/1X,'COORDENADAS DAS JUNTAS',/1H ,5X,
      *'JUNTA',9X,'X',9X,'Y')
      GO TO 222
221  WRITE(ISAI,55)XNOME,MM,NJ,NRJ,NML,XL,NMT
55  FORMAT(1H1,18A4,/,/,1H0,'CALCULO DE ESTRUTURA PRISMATICA LAMINAR',
      *///1H0,'DADOS DA ESTRUTURA',/1H,3X,'ELEMENTOS',2X,'JUNTAS',
      *' JUNT RET ELEM LIB',7X,'VAO MATERIAIS',
      */1X,4I10,F10.2,I10/1H0,'TABELA DE MATERIAIS',/1H,
      *'MAT',5X,'EFEITO DE PLACA',6X,'EFEITO DE MEMBRANA',/1X,
      *'TIPO',9X,'E C.POISSON',11X,'E C.POISSON')

C      LEITURA E IMPRESSAO DA TABELA DE MATERIAIS
C
C      *
C      *
C      *
C      *
      DO 160 I=1,NMAT
      READ(IENT,56)J,EP(J),XMUEP(J),EM(J),XMUEM(J)
56  FORMAT(I10,2F10.0,F10.0,F10.0)

```

```

160 WRITE(ISAI,57)J,EP(J),XMUEP(J),EM(J),XMUEM(J)
57 FORMAT(15,2(1X,F10.0,1X,F10.2))
WRITE(ISAI,58)
58 FORMAT(/1H0,'COORDENADAS DAS JUNTAS',/1H,5X,
*'JUNTA',9X,'X',9X,'Y')
222 CONTINUE
C   CONTROLE DOS DADOS BASICOS,MUDAR QUANDO NECESSARIO
IF(30-MM)301,300,300
300 IF(MM)301,301,302
302 IF(NJ)301,301,303
303 IF(XL)301,301,304
304 IF(20-NJ)301,305,305
301 CALL ERRO(1,100,301)
305 CONTINUE
DO 3 I=1,NJ
C
C   LEITURA E IMPRESSAO DAS COORDENADAS DAS JUNTAS
C
C           *           *
C           * CARTAO E   *
C           *           *
C
READ(IENT,4)J,X(J),Y(J)
4 FORMAT(I10,2F10.0)
3 WRITE(ISAI,5)J,X(J),Y(J)
5 FORMAT(I11,2F10.3)
ICHV=3
CALL RESUL
GO TO(200,201),JIR
200 CONTINUE
C
C   ANALISE DA ESTRUTURA COMO QUADRO PLANO
C
WRITE(ISAI,701)
701 FORMAT(1H0,'DADOS DOS ELEMENTOS',/1H,4X,'ELEMENTO',2X,'JT INIC',4
*X,'JT FIM',1X,'COMPRIM',3X,'AREA',1X,'M INERCIA')
C
C   LEITURA E IMPRESSAO DAS CARACTERISTICAS DOS ELEMENTOS
C
C           *           *
C           * CARTAO F1   *
C           *           *
C
DO 22 I=1,MM
READ(IENT,23)J,JJ(J),JK(J),AX(J),XIZ(J)
23 FORMAT(3I10,2F10.0)
JJJ=JJ(J)
JKJ=JK(J)
XCL=X(JKJ)-X(JJJ)
YCL=Y(JKJ)-Y(JJJ)
XL2A(J)=SQRT(XCL**2+YCL**2)
CX(J)=XCL/XL2A(J)

```

```

CY(J)=YCL/XL2A(J)
22 WRITE(ISAI,702)J,JJ(J),JK(J),XL2A(J),AX(J),XIZ(J)
702 FORMAT(3I10,3F10.0)
WRITE(16,1)XIZ
WRITE(16,2)AX
GO TO 923
201 CONTINUE

ANALISE DA ESTRUTURA COMO E.P.L.

ESTRUTURA COM UM UNICO MATERIAL

IF(NMT.NE.1)GO TO 225
WRITE(ISAI,6)
6 FORMAT(1H0,'DADOS DOS ELEMENTOS',/1H ,4X,'ELEMENTO',2X,'JT INIC',
*4X,'JT FIM',1X,'ESPESSURA',3X,'COMPRIM')
DO 7 I=1,MM
      *
      * CARTAO F2
      *
READ(IENT,8)J,JJ(J),JK(J),H(J)
8 FORMAT(3I10,1F10.0)
JJJ=JJ(J)
JKJ=JK(J)
XCL=X(JKJ)-X(JJJ)
YCL=Y(JKJ)-Y(JJJ)
XL2A(J)=SQRT(XCL**2+YCL**2)
CX(J)=XCL/XL2A(J)
CY(J)=YCL/XL2A(J)
7 WRITE(ISAI,16)J,JJ(J),JK(J),H(J),XL2A(J)
16 FORMAT(1H ,3I10,F10.3,F10.3)
GO TO 923

ESTRUTURAS COM DIVERSOS MATERIAIS

225 WRITE(ISAI,59)
59 FORMAT(1H0,'DADOS DOS ELEMENTOS',/1H ,4X,'ELEMENTO',2X,'JT INIC',
*4X,'JT FIM',1X,'COMPRIM',7X,'ESPESSURA',9X,'MAT',/1X ,
*43X,'PLACA',4X,'MEMBR')
DO 227 I=1,MM
      *
      * CARTAO F3
      *
READ(IENT,60)J,JJ(J),JK(J),MAT(J),HP(J),HM(J)
60 FORMAT(4I10,2F10.0)
JJJ=JJ(J)
JKJ=JK(J)
XCL=X(JKJ)-X(JJJ)

```

```

YCL=Y(JKJ)-Y(JJJ)
XL2A(J)=SQRT(XCL**2 + YCL**2)
CX(J)=XCL/XL2A(J)
CY(J)=YCL/XL2A(J)
227 WRITE(ISAI,61)J,JJ(J),JK(J),XL2A(J),HP(J),HM(J),MAT(J)
61 FORMAT(3I10,3F10.3,I10)
923 CONTINUE
DO 503 I=1,IDIM
503 IRL(I)=0
IF(NRJ)500,501,504
500 CALL ERRO(1,0,500)
501 WRITE(ISAI,502)
502 FORMAT(1H0,'NENHUMA JUNTA FOI RETIDA')
GO TO 505

C
C LEITURA E IMPRESSAO DAS JUNTAS RESTRINGIDAS
C
504 WRITE(ISAI,9)
9 FORMAT(1H0,'LISTA DAS RETENCOES',/1H,5X,'JUNTA',2X,'TRANSL X',
*2X,'TRANSL Y',2X,'TRANSL Z',5X,'ROT Z')
DO 10 I=1,NRJ
C
C *
C * CARTAO G *
C *
READ(IENT,11)J,IRL(4*J-3),IRL(4*J-2),IRL(4*J-1),IRL(4*J)
JRE(I)=J
11 FORMAT(5I10)
10 WRITE(ISAI,12)J,IRL(4*J-3),IRL(4*J-2),IRL(4*J-1),IRL(4*J)
12 FORMAT(1H,5I10)
505 ICRL(1)=IRL(1)
KT=4*NJ
DO 13 K=2,KT
13 ICRL(K)=ICRL(K-1)+IRL(K)
NR=ICRL(IDIM)
NN=IDIM-NR
DO 511 I=1,MM
DO 511 J=1,8
511 LIB(I,J)=0
IF(NML)512,514,512

C
C LEITURA E IMPRESSAO DOS ELEMENTOS COM LIBERACOES
C
512 WRITE(ISAI,51)
51 FORMAT(1H0,'LISTA DE ELEMENTOS COM LIBERACOES',1H,
*'ELEMENTO JUNTA LIB FX LIB FY LIB FZ LIB MZ')
DO 513 JF=1,NML
C
C *
C * CARTAO H *
C *

```



```

C          *          *
      READ(IENT,53)I,(LIB(I,LB),LB=1,8)
53  FORMAT(9I5)
      MLB(JF)=I
513 WRITE(ISAI,54)I,JJ(I),(LIB(I,LB),LB=1,4),
      *          I,JK(I),(LIB(I,LB),LB=5,8)
54  FORMAT(5X,I5,5X,I5,4(2X,I5,3X),/,6X,I5,5X,I5,4(2X,I5,3X))
514 CONTINUE

C
C  LEITURA E IMPRESSAO DOS HARMONICOS USADOS NA ANALISE DA ESTRUTURA
C
C          *          *
C          * CARTAO I          *
C          *          *
      READ(IENT,14)IQ,(MMQ(I),I=1,IQ)
14  FORMAT(11I5)
      DO 44 KXX=1,IQ
44  Q(KXX)=MMQ(KXX)
      IF(IQ)401,401,402
402 IF(10-IQ)401,403,403
401 CALL ERRO(1,102,401)
403 CONTINUE
      WRITE(ISAI,15)IQ,(Q(I),I=1,IQ)
15  FORMAT(1H0,'TERMOS DO DESENV DE FOURIER NECESSARIOS',/1H ,3X,
      * 'QUANTOS',5X,'QUAIS',/1H ,10,6F10.0,7(/F21.0,5F10.0))
      RETURN
8888 JIR=111
      RETURN
      END

```

```

C      SUBROTINA MATRIZ DE RIGIDEZ DOS ELEMENTOS      SUBROTINA NUM 2
C
      SUBROUTINE RIGEL
      DIMENSION SM(8,8),SMR(4,8),SMT(8,8)
      DIMENSION XIZ(30),AX(30)
      COMMON MM,NJ,NN,E,XMUE,JJ(30),JK(30),XL2A(30),H(30),XL,CX(30),
      *CY(30),IRL(80),ICRL(80),IQ,I2,IDIM,XNOME(18),ICC,IHA,MLB(30),
      *Q(40),NOR(40),NUMCA,NUMOH,XN,AML(30,8),D(80),AC(80),NUM,NLJ,
      *NLM,FX(20),FY(20),XMZ(20),PX(30),PY(30),JC(20),MC(30),NRJ,JRE(20),
      *IPRT(6),ISAI,IENT,ICHV,JIR,NMT,PZ(30),FZ(30),IDA,NCJ,NCM,
      *EP(2),XMUEP(8),EM(8),XMUEM(8),MAT(8),HP(30),HM(30),NML,LIB(30,8)
      ICHV=6
      CALL RESUL
      GO TO(8971,8972),JIR
8971 CONTINUE
      WRITE(ISAI,8970)
8970 FORMAT(' RIGEL')
8972 CONTINUE
      DO 3 K=1,8
      DO 3 M1=K,8
      3 SM(K,M1)=0
      ICHV=2
      CALL RESUL
      GO TO(807,808),JIR
807 CONTINUE
      WRITE(ISAI,821)
821 FORMAT(1H1,'DETERM DAS MATRIZES DE RIGIDEZ DOS ELEMENTOS DO SISTEM
      *A LOCAL DE COORD')
808 CONTINUE
      DO 6 NQ=1,IQ
      XN=Q(NQ)
      IML=0
      DO 1 IM=1,MM
      ICHV=3
      CALL RESUL
      GO TO(200,201),JIR
C
C      MATRIZ DE RIGIDEZ PARA ELEMENTO DE BARRA
C      SISTEMA LOCAL
C
200 READ(16,1) XIZ
      READ(16,2) AX
      A=E*AX(IM)
      B=E*XIZ(IM)
      C=XL2A(IM)
      SM(1,1)=A/C
      SM(1,5)=-SM(1,1)
      SM(2,2)=12.*B/(C**3)

```

```

SM(2,4)=6.*B/(C**2)
SM(2,6)=-SM(2,2)
SM(2,8)=SM(2,4)
SM(4,4)=4.*B/C
SM(4,8)=0.5*SM(4,4)
SM(3,3)=1.
SM(7,7)=1.
GO TO 923

```

201 CONTINUE

MATRIZ DE RIGIDEZ PARA E. P. L.
SISTEMA LOCAL

COMPORTAMENTO DE PLACA

```
IF(NMT.EQ.1)GO TO 340
IT=MAT(IM)
E=EP(IT)
XMUE=XMUEP(IT)
H(IM)=HP(IM)
```

340 CONTINUE

```

BB=(XN*3.141593)/XL
BT=BB*XL2A(IM)
SH=(EXP(BT)-EXP(-BT))*0.5
CH=(EXP(BT)+EXP(-BT))*0.5
DP=(E*(H(IM)**3))/(12.*(1.-(XMUE**2)))
AP=SH**2-BT**2
BDP1=2*BB*DP/AP
BDP2=BDP1*BB
BDP3=BDP2*BB
SM(2,2)=BDP3*(SH*CH+BT)
SM(2,4)=0.5*BDP2*(SH**2+BT*BT+XMUE*AP)
SM(2,6)=-BDP3*(BT*CH+SH)
SM(2,8)=BDP2*BT*SH
SM(4,4)=BDP1*(SH*CH-BT)

```

COMPORTAMENTO DE CHAPA

```
IF(NMT.EQ.1) GO TO 350
E=EM(IT)
XMUE=XMUEM(IT)
H(IM)=HM(IM)
```

350 CONTINUE

```

FB=(3.-XMUE)/(1.+XMUE)
DL=(E*H(IM))/(1.+XMUE)**2)
AL=BT**2-(FB*SH)**2
BDL=2.*BB*DL/AL
SM(4,8)=BDP1*(BT*CH-SH)

```

```

SM(1,3)=-BDL*(FB*SH*SH+0.5*AL*(1.+XMUE))
SM(1,5)=BDL*(BT*CH+FB*SH)
SM(1,7)=-BDL*BT*SH
SM(3,3)=BDL*(BT-FB*SH*CH)
SM(3,7)=-BDL*(BT*CH-FB*SH)
SM(1,1)=-BDL*(BT+FB*SH*CH)

```

923 CONTINUE

```

SM(3,5)=-SM(1,7)
SM(4,6)=-SM(2,8)
SM(5,5)=SM(1,1)
SM(6,8)=-SM(2,4)
SM(6,6)=SM(2,2)
SM(5,7)=-SM(1,3)
SM(7,7)=SM(3,3)
SM(8,8)=SM(4,4)

```

DO 4 K=2,8

K1=K-1

DO 4 M1=1,K1

4 SM(K,M1)=SM(M1,K)

TRANSFORMACAO DA MATRIZ DE RIGIDEZ DE ELEMENTOS COM LIBERACOES

IF(NML)400,408,400

400 NLIB=0

DO 401 LB=1,8

401 NLIB=NLIB+LIB(I,LB)

IF(NLIB)403,408,403

403 DO 407 LB=1,8

IF(LIB(I,LB))404,407,404

404 DO 405 J=1,8

DO 405 K=1,8

405 SMT(J,K)=SM(J,K)-(SM(J,LB)*SM(LB,K)/SM(LB,LB))

DO 406 J=1,8

DO 406 K=1,8

406 SM(J,K)=SMT(J,K)

407 CONTINUE

IML=IML+1

K3=NML+NQ-NML+IML

WRITE(22,K3)((SM(IX,JX),IX=1,8),JX=1,8)

408 CONTINUE

ICNV=2

CALL RESUL

GO TO(305,806),JIR

805 CONTINUE

ICNV=4

CALL RESUL

GO TO(830,831),JIR

830 CONTINUE

```
      WRITE(ISAI,832)IM,XN,((SM(KE,KA),KA=1,8),KE=1,8)
832  FORMAT(1H0,'MATRIZ DE RIGIDEZ LOCAL DO ELEMENTO',I3,' PARA O HARMO
      *NICO N',F4.0,8(/1H ,8F13.4))
      GO TO 806
831  CONTINUE
      WRITE(ISAI,820)IM,XN,((SM(KE,KA),KA=1,8),KE=1,8)
820  FORMAT(1H0,'MATRIZ DE RIGIDEZ LOCAL DO ELEMENTO',I3,' PARA O HARMO
      *NICO N',F4.0,8(/1H ,7F10.0/1H ,F10.0))
806  CONTINUE
```

C
C
C

```
      MATRIZ AUXILIAR   SMR

      DO 8   KW=1,2
      JWI=4*KW-3
      JWF=4*KW
      DO 7   K=1,2
      DO 7   J=JWI,JWF
      JA=J-4*(KW-1)
      A1=SM(J,4*K-3)
      A2=SM(J,4*K-2)
      SMR(JA,4*K-3)=A1*CX(IM)+A2*(-CY(IM))
      SMR(JA,4*K-2)=A1*CY(IM)+A2*CX(IM)
      SMR(JA,4*K-1)=SM(J,4*K-1)
7  SMR(JA,4*K)=SM(J,4*K)
      K1=2*(MM*NQ-MM+IM)-2*KW
8  WRITE(10,K1)SMR
1  CONTINUE
6  CONTINUE
      RETURN
      END
```

```

C      SUBROTINA MATRIZ DE RIGIDEZ TOTAL DA ESTRUTURA      SUBROTINA NUM 3
      SUBROUTINE RIGST
      DIMENSION S(4,80)
      DIMENSION SMR(4,8),SMD(4,8),IW(8)
      COMMON MM,NJ,NN,E,XMUE,JJ(30),JK(30),XL2A(30),H(30),XL,CX(30),
      *CY(30),IRL(80),ICRL(30),IQ,I2,IDIM,XNOME(18),ICC,IHA,MLB(30),
      *Q(40),NOR(40),NUMCA,NUMOH,XN,AML(30,8),D(80),AC(80),NUM,NLJ,
      *NLM,FX(20),FY(20),XMZ(20),PX(30),PY(30),JC(20),MC(30),NRJ,JRE(20),
      *IPRT(6),ISAI,IENT,ICHV,JIR,NMT,PZ(30),FZ(30),IDA,NCJ,NCM,
      *EP(8),XMUEP(8),EM(8),XMUEM(8),MAT(8),HP(30),HM(30),NML,LIB(30,8)
      ICHV=6
      CALL RESUL
      GO TO(8971,8972),JIR
8971  CONTINUE
      WRITE(ISAI,8970)
8970  FORMAT(' RIGST')
8972  CONTINUE
      K2=4*NJ
      ICHV=2
      CALL RESUL
      GO TO(807,808),JIR
807  CONTINUE
      WRITE(ISAI,821)
821  FORMAT(1H1, 'DETERM DA MATRIZ DE RIGIDEZ DA ESTRUTURA NO SISTEMA G
      *LOBAL DE COORD')
808  CONTINUE
      DO 6  NQ=1,IG
      XN=Q(NQ)
      DO 21  JW=1,NJ
      DO 2  I=1,4
      DO 2  J=1,NN
      2  S(I,J)=0.
      DO 1  IM=1,MM
      IF(JJ(IM)-JW)23,24,23
      24  KW=1
      GO TO 25
      23  IF(JK(IM)-JW)1,26,1
      26  KW=2
      25  CONTINUE

C      NUMERACAO DAS DESLOCABILIDADES DO ELEMENTO
      IW(1)=4*JJ(IM)-3
      IW(2)=4*JJ(IM)-2
      IW(3)=4*JJ(IM)-1
      IW(4)=4*JJ(IM)
      IW(5)=4*JK(IM)-3
      IW(6)=4*JK(IM)-2

```

```
IW(7)=4*JK(IM)-1
IW(8)=4*JK(IM)
```

```
C
C  RENUMERACAO DAS DESLOCABILIDADES DO ELEMENTO
C
```

```
DO 100 I=1,8
  ICON=IW(I)
  IF( IRL(ICON))7,8,9
7  CALL ERRO(3,1,7)
8  IW(I)=IW(I)-ICRL(ICON)
  GO TO 10
9  IW(I)=NN+ICRL(ICON)
10 CONTINUE
100 CONTINUE
```

```
C
C  MATRIZ DE RIGIDEZ DO ELEMENTO
C  SISTEMA GLOBAL
C
```

```
K1=2*(MM+NQ-MM+IM)-2+KW
READ(10,K1)SMR
DO 11 K=1,8
  A1=SMR(1,K)
  A2=SMR(2,K)
  SMD(1,K)=CX(IM)*A1+(-CY(IM))*A2
  SMD(2,K)=CY(IM)*A1+CX(IM)*A2
  SMD(3,K)=SMR(3,K)
11 SMD(4,K)=SMR(4,K)
  ICHV=1
  CALL RESUL
  GO TO(300,301),JIR
300 WRITE(ISA1,304)IM,KW,((SMD(IX,IJ),IJ=1,8),IX=1,4)
304 FORMAT(1H0,2I10/1H ,4(/1H ,4(/1H ,8F10.0)))
301 CONTINUE
```

```
C
C  MONTAGEM DA MATRIZ DE RIGIDEZ DA ESTRUTURA
C
```

```
DO 103 I=1,8
  IF(4-I)20,12,12
12 IT=4*JJ(IM)-4+I
  GO TO 13
20 IT=4*JK(IM)-8+I
13 IF( IRL(IT))14,15,102
14 CALL ERRO(3,1,14)
15 ICOI=IW(I)
  DO 101 J=1,4
    S(J,ICOI)=S(J,ICOI)+SMD(J,I)
101 CONTINUE
102 CONTINUE
```

```
103 CONTINUE
  1 CONTINUE
    DO 30 K3=1,4
      K3J=4*KW-4+K3
      ICOJ=IW(K3J)
      K4=IDIM*NQ-IDIM+ICOJ
30  WRITE(11,'K4')(S(K3,I),I=1,NN)
21  CONTINUE
    ICHV=2
    CALL RESUL
    GO TO(801,802),JIR
801  CONTINUE
    WRITE(ISAI,824)XN
824  FORMAT(1H0,'MATRIZ DE RIGIDEZ DA ESTRUTURA PARA O HARMONICO N',
  *F4.0/)
    DO 303 K3=1,K2
      K4=IDIM*NQ-IDIM+K3
      READ(11,'K4')(S(1,I),I=1,NN)
303  WRITE(ISAI,822)(S(1,I),I=1,NN)
822  FORMAT(1H ,7F10.0)
802  CONTINUE
  6  CONTINUE
    RETURN
  END
```



```

C      SUBROTINA MATRIZ S TRIANGULAR SUPERIOR - GAUSS      SUBROTINA NUM 4
SUBROUTINE TRIGS
  DIMENSION T(80),R(80),F(80)
  COMMON MM,NJ,NN,E,XMUE,JJ(30),JK(30),XL2A(30),H(30),XL,CX(30),
*CY(30),IRL(80),ICRL(80),IQ,I2,IDIM,XNOME(18),ICC,IHA,MLB(30),
*Q(40),NOR(40),NUMCA,NUMOH,XN,AML(30,8),D(80),AC(80),NUM,NLJ,
*NLM,FX(20),FY(20),XMZ(20),PX(30),PY(30),JC(20),MC(30),NRJ,JRE(20),
*IPRT(6),ISAI,IENT,ICHV,JIR,NMT,PZ(30),FZ(30),IDA,NCJ,NCM,
*EP(8),XMUEP(8),EM(8),XMUEM(8),MAT(8),HP(30),HM(30),NML,LIB(30,8)
  ICHV=6
  CALL RESUL
  GO TO(8971,8972),JIR
8971 CONTINUE
  WRITE(ISAI,8970)
8970 FORMAT(' TRIGS')
8972 CONTINUE
  IF(NN-1)100,100,101
  101 CONTINUE
  DO 1  NQ=1,IQ
    N1Z=NN-1

C
C      IX= LINHA PIVOT
C
    DO 2  IX=1,N1Z
      K4=IDIM*NQ-IDIM+IX
      READ(11,K4)(T(N1),N1=IX,NN)
      IF(T(IX))3,4,3
    4 CALL ERRO(4,0,4)
    3 W=1./T(IX)
      N2Z=IX+1

C
C      N2= LINHAS SUBSEQUENTES A DO PIVOT A SEREM ALTERADAS
C
    DO 5  N2=N2Z,NN
      K4=IDIM*NQ-IDIM+N2
      READ(11,K4)(R(N1),N1=IX,NN)
      IF(R(IX))7,6,7
    6 F(N2)=0.
      GO TO 5
    7 YW=-(W*R(IX))
      F(N2)=YW

C
C      MODIFICACAO COLUNA POR COLUNA DA LINHA A SER ALTERADA
C
    DO 8  N3=N2Z,NN
      IF(T(N3))10,8,10
    10 R(N3)=R(N3)+YW*T(N3)
    8 CONTINUE

```

```
5 WRITE(11,'K4')(R(N3),N3=N2Z,NN)
  K4=IDIM*NQ-IDIM+IX
```

C
C
C

ARMAZENAMENTO DOS FATORES PARA TRIANGULARIZACAO

```
  WRITE(17,'K4')(F(N3),N3=N2Z,NN)
2  CONTINUE
1  CONTINUE
100 RETURN
  END
```

```
C      SUBROTINA NUMERO DE CARREGAMENTOS A ESTUDAR          SUBROTINA NUM 5
SUBROUTINE NUCAR
COMMON MM,NJ,NN,E,XMUE,JJ(30),JK(30),XL2A(30),H(30),XL,CX(30),
*CY(30),IRL(80),ICRL(80),IQ,I2,IDIM,XNOME(18),ICC,IHA,MLB(30),
*Q(40),NOR(40),NUMCA,NUMOH,XN,AML(30,8),D(80),AC(80),NUM,NLJ,
*NLM,FX(20),FY(20),XMZ(20),PX(30),PY(30),JC(20),MC(30),NRJ,JRE(20),
*IPRT(6),ISAI,IENT,ICHV,JIR,NMT,PZ(30),FZ(30),IDA,NCJ,NCM,
*EP(8),XMUEP(8),EM(8),XMUEM(8),MAT(8),HP(30),HM(30),NML,LIB(30,8)
  ICHV=6
  CALL RESUL
  GO TO(8971,8972),JIR
8971 CONTINUE
  WRITE(ISAI,8970)
8970 FORMAT(' NUCAR')
8972 CONTINUE

C      LEITURA E IMPRESSAO DO NUMERO DE CARREGAMENTOS
C
C          *          *
C          * CARTAO J  *
C          *          *
C
  READ(IENT,2)ICC
2  FORMAT(I10)
  WRITE(ISAI,3)ICC
3  FORMAT(1H0,'SERA(0) ESTUDADO(S)',I3,' CARREGAMENTO(S)')
  RETURN
  END
```

```

C      SUBROTINA DADOS GERAIS DO CARREGAMENTO                      SUBROTINA NUM 6
      SUBROUTINE DACAR
      DIMENSION TIPP(4),DIRP(4)
      DATA TIPP/'UNIF','PARC','CONC','TRIG',/DIRP/'FX','FY','FZ','MZ'/
      COMMON MM,NJ,NN,E,XMUE,JJ(30),JK(30),XL2A(30),H(30),XL,CX(30),
      *CY(30),IRL(80),ICRL(80),IQ,I2,IDIM,XNOME(18),ICC,IHA,MLB(30),
      *Q(40),NOR(40),NUMCA,NUMOH,XN,AML(30,8),D(80),AC(80),NUM,NLJ,
      *NLM,FX(20),FY(20),XMZ(20),PX(30),PY(30),JC(20),MC(30),NRJ,JRE(20),
      *IPRT(6),ISAI,IENT,ICHV,JIR,NMT,PZ(30),FZ(30),IDA,NCJ,NCM,
      *EP(8),XMUEP(8),EM(8),XMUEM(8),MAT(8),HP(30),HM(30),NML,LIB(30,8)
      ICHV=6
      CALL RESUL
      GO TO(8971,8972),JIR
8971  CONTINUE
      WRITE(ISAI,8970)
8970  FORMAT(' DACAR')
8972  CONTINUE
      DO 13 K=1,IDIM
      FX(K)=0.
      FY(K)=0.
      FZ(K)=0.
13    XMZ(K)=0.
      DO 16 LO=1,MM
      PX(LO)=0.
      PY(LO)=0.
16    PZ(LO)=0.

C
C      LEITURA E IMPRESSAO DOS DADOS GERAIS DO CARREGAMENTO
C
C          *          *
C          * CARTAO K  *
C          * CARTAO L  *
C          *          *
      READ(IENT,1)XNOME,NUM,NLJ,NLM,NCJ,NCM,IHA,(NOR(I),I=1,IHA)
1  FORMAT(18A4/16I5)
      WRITE(ISAI,6)XNOME,NUM,NLJ,NLM,IHA,(NOR(I),I=1,IHA)
6  FORMAT(1H1,18A4,/' DADOS GERAIS SOBRE A COND. DE CARREGAMENTO',
      */1H,/' TIPO CARR JUNT CARR MEMB CARR NUM HARMO NUM ORDEM'
      */1X,4I10,10I2)
      DO 15 K=1,IHA
      NUMOH=NOR(K)
      IF(NUMOH-IQ)15,15,4
4  CALL ERRO(6,4,4)
15  CONTINUE
C      IDA=1      NLJ=0      NLM>0
C      IDA=2      NLJ>0      NLM=0
C      IDA=3      NLJ>0      NLM>0
C      IDA=4      NLJ=0      NLM=0
      GO TO(601,602),NUM

```

```
601 WRITE(ISAI,31)
31 FORMAT(1H0,'AS AMPLITUDES DOS ESFORÇOS NAS JUNTAS E NAS EXTREMIDADES
*ES DOS MEMBROS'/1H,'SERÃO FORNECIDAS DIRETAMENTE')
602 CONTINUE
IF(NLJ)21,22,23
21 CALL ERRO(6,1,21)
22 CALL PRINT2(ISAI)
IF(NLM)24,25,26
24 CALL ERRO(6,1,24)
25 IDA=4
CALL PRINT4(ISAI)
GO TO 7000
26 IDA=1
GO TO(7000,6000),NUM
23 IF(NLM)27,28,29
27 CALL ERRO(6,1,27)
28 IDA=2
CALL PRINT4(ISAI)
GO TO 30
29 IDA=3
30 CONTINUE
GO TO(7000,5000),NUM

C
C LEITURA E IMPRESSÃO DAS CARGAS APLICADAS NAS JUNTAS
C CARREGAMENTO TIPO 2
C
5000 CONTINUE
WRITE(ISAI,204)
204 FORMAT(1H,' CARGAS APLICADAS NAS JUNTAS (SIST. GLOBAL)',
*/1H,' JUNTA CARREGAMENTO',7X,'DISTÂNCIA(S)')
K5=0
DO 5010 K=1,NCJ

C
C *
C * CARTÃO M
C *
READ(IENT,716)I,TIPO,DIR,VAL,ZA,ZB
716 FORMAT(I10,4X,A4,A2,3F10.3)
IF(K.EQ.1) GO TO 9090
DO 9095 KK=1,KONT
IF(JC(KK).EQ.I) GO TO 9096
9095 CONTINUE
KONT=KONT+1
JC(KONT)=I
GO TO 9096
9090 KONT=1
JC(1)=I
9096 K5=K5+1
DO 5015 IT=1,4
```

```

      IF(TIPO.EQ.TIPP(IT)) IDE=IT
5015  CONTINUE
      GO TO(5021,5022,5023,5022),IDE
5021  WRITE(ISAI,821)I,TIPO,DIR,VAL
      821  FORMAT(1H ,I10,2X,A4,A2,F10.3)
      GO TO 5024
5022  WRITE(ISAI,822)I,TIPO,DIR,VAL,ZA,ZB
      822  FORMAT(1H ,I10,2X,A4,A2,F10.3,5X,'ZA=',F10.3,2X,'ZB=',F10.3)
      GO TO 5024
5023  WRITE(ISAI,823)I,TIPO,DIR,VAL,ZA
      823  FORMAT(1H ,I10,2X,A4,A2,F10.3,5X,'ZA=',F10.3)
5024  CONTINUE
      WRITE(19'K5,707)I,TIPO,DIR,VAL,ZA,ZB
      707  FORMAT(I10,A4,A2,3F10.3)
5010  CONTINUE
      IF(KONT.EQ.NLJ) GO TO 9050
      CALL ERRO(6,1,5010)
9050  CONTINUE
      IF(IDA.EQ.2) GO TO 7000

C
C      LEITURA E IMPRESSAO DAS CARGAS APLICADAS NOS ELEMENTOS
C      CARREGAMENTO TIPO 2
C
6000  CONTINUE
      WRITE(ISAI,817)
      817  FORMAT(1H0,' CARGAS APLICADAS NOS ELEMENTOS (SIST. LOCAL)',
* /1H ,'      ELEMENTO      CARREGAMENTO',7X,'DISTANCIA(S)')
      K5=0
      DO 6010 K=1,NCM
C          *
C          * CARTAO N
C          *
      READ(IENT,717)I,TIPO,DIR,VAL,ZA,ZB
      717  FORMAT(I10,4X,A4,A2,3F10.3)
      IF(K.EQ.1) GO TO 9040
      DO 9045 KK=1,KONT
      IF(MC(KK).EQ.I) GO TO 9046
9045  CONTINUE
      KONT=KONT+1
      MC(KONT)=I
      GO TO 9046
9040  KONT=1
      MC(1)=I
9046  K5=K5+1
      DO 6015 IT=1,3
      IF(TIPO.EQ.TIPP(IT)) IDE=IT
6015  CONTINUE
      GO TO(6021,6023,6023),IDE

```

```
6021 WRITE(ISAI,821)I,TIPO,DIR,VAL  
GO TO 6024  
6023 WRITE(ISAI,822)I,TIPO,DIR,VAL,ZA,ZB  
6024 CONTINUE  
WRITE(18'K5,712)I,TIPO,DIR,VAL,ZA,ZB  
712 FORMAT(I10,A4,A2,3F10.3)  
6010 CONTINUE  
IF(KONT.EQ.NLM) GO TO 9010  
CALL ERRO(6,1,6010)  
9010 CONTINUE  
7000 CONTINUE  
RETURN  
END
```

```

C      SUBROTINA AMPLITUDE DOS HARMONICOS PARA AS CARGAS SUBROTINA NUM 7
C      CARGAS APLICADAS NAS JUNTAS
C      FORÇAS DE FIXACAO DOS ELEMENTOS CARREGADOS
C
      SUBROUTINE LEICA
      DIMENSION A(80),AE(80),DIRP(4),TIPP(4)
      DIMENSION SM(8,8),AMLT(30,8),MCL(30)
      DATA TIPP/'UNIF','PARC','CONC','TRIG',/DIRP/'FX','FY','FZ','MZ'/
      COMMON MM,NJ,NN,E,XMUE,JJ(30),JK(30),XL2A(30),H(30),XL,CX(30),
      *CY(30),IRL(80),ICRL(80),IQ,I2,IDIM,XNOME(18),ICC,IHA,MLB(30),
      *Q(40),NOR(40),NUMCA,NUMOH,XN,AML(30,8),D(80),AC(80),NUM,NLJ,
      *NLM,FX(20),FY(20),XMZ(20),PX(30),PY(30),JC(20),MC(30),NRJ,JRE(20),
      *IPRT(6),ISAI,IENT,ICHV,JIR,NMT,PZ(30),FZ(30),IDA,NCJ,NCM,
      *EP(8),XMUEP(8),EM(8),XMUEM(8),MAT(8),HP(30),HM(30),NML,LIB(30,8)
      ICHV=6
      CALL RESUL
      GO TO(8971,8972),JIR
8971  CONTINUE
      WRITE(ISAI,8970)
8970  FORMAT(' LEICA')
8972  CONTINUE
C      IDA=1      NLJ=0      NLM>0
C      IDA=2      NLJ>0      NLM=0
C      IDA=3      NLJ>0      NLM>0
C      IDA=4      NLJ=0      NLM=0
      DO 13 K=1,IDIM
      A(K)=0.
      AE(K)=0.
13  AC(K)=0.
      DO 14 LO=1,MM
      DO 14 LU=1,8
14  AML(LO,LU)=0.
      NUMOH=NOR(NUMCA)
      XN=Q(NUMOH)
      CALL PRINT1(ISAI,XN,NUMOH)
      GO TO(9001,9002),NUM.
9001  CONTINUE
C
C      LEITURA E IMPRESSAO DAS AMPLIT. DAS ACOES APLICADAS NAS JUNTAS
C      CARREGAMENTO TIPO 1
C
      GO TO(202,102,102,7021),IDA
102  CALL PRINT3(ISAI,XN)
      DO 603 K=1,NCJ
C          *
C          * CARTAO 0
C          *
      READ(IENT,604)I,A(4*I-3),A(4*I-2),A(4*I-1),A(4*I)

```



```
604 FORMAT(I10,4F10.0)
WRITE(ISAI,605)I,A(4*I-3),A(4*I-2),A(4*I-1),A(4*I)
605 FORMAT(1H ,I10,4F10.3)
JC(K)=I
603 CONTINUE
IDE=IDA-1
GO TO(7021,202),IDE

C
C LEITURA E IMPRESSAO DAS AMPLIT. DAS FORCAS DE FIXACAO NOS BORDOS
C PARA OS ELEMENTOS CARREGADOS
C CARREGAMENTO TIPO 1
C
202 CALL PRINT5(ISAI,XN)
DO 606 K=1,NCM
C
C      *
C      * CARTAO P      *
C      *
C      *
READ(IENT,607)I,(AML(I,KA),KA=1,8)
607 FORMAT(I10,4F10.0/10X,4F10.0)
WRITE(ISAI,608)I,JJ(I),(AML(I,KA),KA=1,4),
*      I,JK(I),(AML(I,KA),KA=5,8)
608 FORMAT(1H ,2I5,4F10.3,/1H ,2I5,4F10.3)
MC(K)=I
606 CONTINUE
GO TO 7000
9002 CONTINUE

C
C AMPLITUDE DAS ACCOES APLICADAS NAS JUNTAS
C CARREGAMENTO TIPO 2
C
GO TO(452,612,612,7021),IDA
612 CALL PRINT3(ISAI,XN)
DO 4070 K=1,NCJ
KS=K
READ(19'K5,206)I,TIPO,DIR,VAL,ZA,ZB
206 FORMAT(I10,A4,A2,3F10.3)
DO 400 IT=1,4
IF(TIPO.EQ.TIPP(IT)) ID1=IT
400 CONTINUE
GO TO(401,402,403,402),ID1

C
C CARGA UNIFORM. DISTRIBUIDA
C
401 CALL TESPAC(XN,IPN)
GO TO(488,4070),IPN
488 C1=4./(3.141593*XN)
GO TO 404

C
```

C CARGA PARCIALM. DISTRIBUIDA

C

```
402 IF(ZB.LT.ZA) GO TO 472
    IF(ZB.GT.XL) GO TO 472
    GO TO 474
472 CALL ERRO(7,1,472)
474 CD=0.5*(ZB-ZA)
    DD=ZA+CD
    IF(DD.NE.(XL/2.)) GO TO 491
    CALL TESPARG(XN,IPN)
    GO TO(491,4070),IPN
491 ARG1=3.141593*XN*CD/XL
    ARG2=3.141593*XN*DD/XL
    IF(ID1.EQ.4) GO TO 9040
    C1=(4./(3.141593*XN))*SIN(ARG1)*SIN(ARG2)
    GO TO 404
```

C

C CARGA TRIANGULAR

C

```
9040 C1=(4./(3.141593*XN*ARG1))*(SIN(ARG2))*(1-COS(ARG1))
    GO TO 404
```

C

C CARGA CONCENTRADA

C

```
403 ZAL=ZA/XL
    IF(ZAL.LT.1.) GO TO 476
    CALL ERRO(7,1,403)
476 IF(ZAL.NE.0.5) GO TO 492
    CALL TESPARG(XN,IPN)
    GO TO(492,4070),IPN
492 ARG1=3.141593*XN*ZAL
    C1=(2./XL)*SIN(ARG1)
404 CONTINUE
    DO 406 IT=1,4
    IF(DIR.EQ.DIRP(IT)) ID2=4-IT
406 CONTINUE
    A(4*I-ID2)=C1*VAL+A(4*I-ID2)
4070 CONTINUE
    DO 407 K=1,NLJ
    WRITE(ISAI,605)I,A(4*I-3),A(4*I-2),A(4*I-1),A(4*I)
407 CONTINUE
    IDE=IDA-1
    GO TO(7021,452),IDE
452 CONTINUE
```

C

C AMPLITUDE DAS FORÇAS DE FIXAÇÃO NOS BORDOS PARA ELEMENTOS CARREG.
C CARREGAMENTO TIPO 2

C

```

      BB=(XN*3.141593)/XL
      CALL PRINT5(ISAI,XN)
      DO 560 K=1,NCM
      K5=K
      READ(18,K5,462)I,TIPO,DIR,VAL,ZA,ZB
462  FORMAT(I10,A4,A2,3F10.3)
      BT=BB*XL2A(I)
      SH=(EXP(BT)-EXP(-BT))*0.5
      CH=(EXP(BT)+EXP(-BT))*0.5
      DO 463 IT=1,3
      IF(TIPO.EQ.TIPP(IT)) ID1=IT
463  CONTINUE
      IF(ID1)500,500,501
500  CALL ERRO(7,2,500)
501  CONTINUE
      DO 464 IT=1,4
      IF(DIR.EQ.DIRP(IT)) ID2=IT
464  CONTINUE
      IF(ID2)505,505,506
505  CALL ERRO(7,1,505)
506  CONTINUE
      IF(ID1.EQ.3) GO TO 507
      IF(ID2.GE.3) GO TO 508
      IF(ID1.EQ.1) GO TO 509
      IF(ZB-ZA)511,512,513
507  IF(ID2.EQ.2) GO TO 529
508  CALL ERRO(7,1,508)
509  CALL TESPAP(XN,IPN)
      GO TO(510,5600),IPN

```

C
C
C

CARGA UNIFORME

```

510  GH=(4.*VAL)/(BB*XL)
      GO TO 516
511  CALL ERRO(7,1,511)
512  IF((ZA/XL).NE.0.5) GO TO 517
      CALL TESPAP(XN,IPN)
      GO TO(517,5600),IPN

```

C
C
C

CARGA PARCIAL ** LINEAR **

```

517  GH=(2.*VAL/XL)*SIN(BB*ZA)
      GO TO 516

```

C
C
C

CARGA PARCIAL ** SUPERF **

```

513  ZC=0.5*(ZB-ZA)
      ZD=ZA+ZC

```

```
IF((ZD/XL).NE.0.5) GO TO 515
CALL TESPARG(XN,IPN)
GO TO(515,5600),IPN
515 QH=((4.*VAL)/(BB*XL))*SIN(BB*ZC)*SIN(BB*ZD)
516 CONTINUE
IF(ID2.NE.2) GO TO 520
```

C
C
C
DIRECAO Y

```
FAML2=-((2.*QH/BB)*((CH-1.)/(BT+SH))
FAML4=-((QH/BB/BB)*((SH-BT)/(BT+SH))
AML(I,2)=AML(I,2)+FAML2
AML(I,4)=AML(I,4)+FAML4
AML(I,6)=AML(I,6)+FAML2
AML(I,8)=AML(I,8)-FAML4
GO TO 5600
```

C
C
C
DIRECAO X

```
520 IF(NMT.EQ.1) GO TO 521
IT=MAT(I)
XMUE=XMUEM(IT)
521 FB=(3.-XMUE)/(1.+XMUE)
FAML1=-((4.*QH)/(XMUE*BB))*((CH-1.)/(BT+FB*SH))
FAML3=-((QH/BB)*((SH-BT)/(BT+FB*SH))
AML(I,1)=AML(I,1)+FAML1
AML(I,3)=AML(I,3)+FAML3
AML(I,5)=AML(I,5)+FAML1
AML(I,7)=AML(I,7)-FAML3
GO TO 5600
```

C
C
C
CARGA PY CONCENTRADA

```
529 IF((ZA/XL2A(I)).GT.1.) GO TO 594
IF((ZB/XL).GT.1.) GO TO 594
GO TO 595
594 CALL ERRO(7,1,594)
595 IF((ZA/XL2A(I)).NE.0.5) GO TO 592
IF((ZB/XL).NE.0.5) GO TO 592
CALL TESPARG(XN,IPN)
GO TO(592,5600),IPN
592 PY(I)=VAL
AAA=SH*SH-BT*BT
ALFA1=BB*ZB
XNI1=BB*ZA
XNI2=BT-XNI1
SHNI1=(EXP(XNI1)-EXP(-XNI1))*0.5
CHNI1=(EXP(XNI1)+EXP(-XNI1))*0.5
```

```

SHNI2=(EXP(XNI2)-EXP(-XNI2))*0.5
CHNI2=(EXP(XNI2)+EXP(-XNI2))*0.5
U=SHNI2+XNI1*CHNI2
UL=SHNI1+XNI2*CHNI1
B1=(2.*VAL/(XN*3.141593*AAA))*SIN(ALFA1)
AML(I,4)=-B1*(XNI1*SH*SHNI2-BT*XNI2*SHNI1)+AML(I,4)
AML(I,8)=+B1*(XNI2*SH*SHNI1-BT*XNI1*SHNI2)+AML(I,8)
AML(I,2)=-B1*BB*(U*SH-BT*UL)+AML(I,2)
AML(I,6)=-B1*BB*(UL*SH-BT*U)+AML(I,6)

```

5600 CONTINUE

560 CONTINUE

DO 550 K=1,NLM

I=MC(K)

DO 8100 IML=1,NML

IF(I.EQ.MLB(IML)) GO TO 550

3100 CONTINUE

```

WRITE(ISAI,608)I,JJ(I),(AML(I,KA),KA=1,4),
* I,JK(I),(AML(I,KA),KA=5,8)

```

550 CONTINUE

7000 CONTINUE

IF(NLM)7020,7021,7022

7020 CALL ERRO(7,1,7020)

7022 IF(NML)7106,7210,7106

C

C

ALTERACAO DAS FORCAS DE FIXACAO PARA ELEMENTOS
CARREGADOS CONTENDO LIBERACOES

C

7106 NCML=0

DO 8250 IML=1,NML

IM=MLB(IML)

DO 8240 K=1,NLM

IF(IM.NE.MC(K)) GO TO 8240

NCML=NCML+1

MCL(NCML)=IM

8240 CONTINUE

8250 CONTINUE

IF(NCML)8260,7210,8260

8260 NQ=NOR(NUMCA)

DO 7200 K=1,NCML

IM=MCL(K)

DO 8261 IML=1,NML

IF(IM.EQ.MLB(IML)) GO TO 8262

8261 CONTINUE

8262 CONTINUE

READ(22,K8)((SM(IX,JX),IX=1,8),JX=1,8)

NLIB=0

DO 8215 LB=1,8

8215 NLIB=NLIB+LIB(IM,LB)

```

      IF(NLIB)8216,7200,8216
8216  CONTINUE
      DO 8208 LB=1,8
      IF(LIB(IM,LB))8201,8208,8201
8201  DO 8203 K=1,8
8203  AMLT(IM,K)=AML(IM,K)-AML(IM,LB)*SM(LB,K)/SM(LB,LB)
      DO 8205 J=1,8
      DO 8205 K=1,8
8205  SM(J,K)=SMT(J,K)
      WRITE(22,K8)((SM(IX,JX),IX=1,8),JX=1,8)
      DO 8206 K=1,8
8206  AML(IM,K)=AMLT(IM,K)
8208  CONTINUE
7200  CONTINUE
      WRITE(ISAI,8209)XN
8209  FORMAT(1H0,'ACOES NAS EXTREMIDADES DOS ELEM. COM LIBERACOES'
*,1X,'(SISTEMA LOCAL)',/,1H,'PARA O HARMONICO N',F4.0/
*,1X,'MEMB',3X,'JUNT',3X,'FORCA X',3X,'FORCA Y',3X,'FORCA Z',1X,
*,1X,'MOMENTO Z')
      DO 8210 K=1,NCLM
      IM=MCL(K)
      WRITE(ISAI,608)IM,JJ(IM),(AML(IM,KA),KA=1,4),
*,IM,JK(IM),(AML(IM,KA),KA=5,8)
8210  CONTINUE
C
C      CARGAS EQUIVALENTES NAS JUNTAS
C
7210  DO 7001 K=1,MM
      DO 7002 I=1,2
      GO TO(7003,7004),I
7003  J4=4*JJ(K)
      L=0
      GO TO 7009
7004  J4=4*JK(K)
      L=4
7009  AE(J4-3)=AE(J4-3)-CX(K)*AML(K,L+1)+CY(K)*AML(K,L+2)
      AE(J4-2)=AE(J4-2)-CY(K)*AML(K,L+1)-CX(K)*AML(K,L+2)
      AE(J4-1)=AE(J4-1)-AML(K,L+3)
7002  AE(J4)=AE(J4)-AML(K,L+4)
7001  CONTINUE
7021  CONTINUE
C
C      CARGAS COMBINADAS NAS JUNTAS
C
      DO 7034 J=1,IDIM
      IF(IRC(J))7031,7032,7033
7031  CALL ERRO(7,1,7031)
7032  K=J-ICRL(J)

```

```
      GO TO 7034
7033 K=NN+ICRL(J)
7034 AC(K)=A(J)+AE(J)
      ICHV=1
      CALL RESUL
      GO TO(7041,7042),JIR
7041 CONTINUE
      WRITE(ISAI,7043)(AE(KA),KA=1,IDIM)
7043 FORMAT(' CARGA AE',11F10.3)
      WRITE(ISAI,7044)(AC(KA),KA=1,IDIM)
7044 FORMAT(' CARGA AC',11F10.3)
7042 CONTINUE
      RETURN
      END
```

```

C      SUBROTINA REACOES E DESLOCAMENTOS                                SUBROTINA NUM 8
      SUBROUTINE REDES
      DIMENSION S(80),F(80),AR(80)
      COMMON MM,NJ,NN,E,XMUE,JJ(30),JK(30),XL2A(30),H(30),XL,CX(30),
      *CY(30),IRL(80),ICRL(80),IQ,I2,IDIM,XNOME(18),ICC,IHA,MLB(30),
      *Q(40),NOR(40),NUMCA,NUMOH,XN,AML(30,8),D(80),AC(80),NUM,NLJ,
      *NLM,FX(20),FY(20),XMZ(20),PX(30),PY(30),JC(20),MC(30),NRJ,JRE(20),
      *IPRT(6),ISAI,IENT,ICHV,JIR,NMT,PZ(30),FZ(30),IDA,NCJ,NCM,
      *EP(8),XMUEP(8),EM(8),XMUEM(8),MAT(8),HP(30),HM(30),NML,L18(30,8)
      ICHV=6
      CALL RESUL
      GO TO(8971,8972),JIR
8971  CONTINUE
      WRITE(ISAI,8970)
8970  FORMAT(' REDES')
8972  CONTINUE
      NQ=NOR(NUMCA)
      XN=Q(NQ)
      K2=4*NJ
      DO 1 K3=1,K2
      D(K3)=0.
      1  AR(K3)=0.
      N1N=NN-1
      IF(N1N)200,201,202
202  DO 203 IX=1,N1N
      NZ=IX+1
      K4=IDIM*NQ-IDIM+IX
      READ(17,K4)(F(N3),N3=NZ,NN)
      DO 203 N2=NZ,NN
203  AC(N2)=AC(N2)+F(N2)*AC(IX)
201  K4=IDIM*NQ-IDIM+NN
      READ(11,K4)T
      D(NN)=AC(NN)/T
      IF(N1N)204,200,205
204  CALL ERRO(8,0,204)

C
C      CALCULO DOS DESLOCAMENTOS POR RETROSUBSTITUICAO
C
205  DO 859 IX=1,N1N
      NW=NN-IX
      L=NW+1
      K4=IDIM*NQ-IDIM+NW
      READ(11,K4)(S(N2),N2=NW,NN)
      DO 206 N3=L,NN
206  AC(NW)=AC(NW)-S(N3)*D(N3)
      D(NW)=AC(NW)/S(NW)
859  CONTINUE
200  NNX=NN+ICRL(K2)

```


NX=NN+1

IF(ICRL(K2))20,21,22

20 CALL ERRO(8,0,20)

FORMACAO DA MATRIZ AR=SRD*D
NUMERACAO NOVA

22 DO 76 K=NX,NNX

AR(K)=-AC(K)

K4=IDIM*NQ-IDIM+K

READ(11,K4)(S(N2),N2=1,NN)

DO 76 J=1,NN

76 AR(K)=AR(K)+S(J)*D(J)

21 J=NN+1

RENUMERACAO DOS DESLOCAMENTOS
NUMERACAO ORIGINAL

JE=NN+ICRL(4*NJ)

77 CONTINUE

IF(IRL(JE))95,81,82

95 CALL ERRO(3,7,95)

81 J=J-1

D(JE)=D(J)

GO TO 78

82 D(JE)=0.

78 JE=JE-1

IF(JE-1)84,77,77

84 CONTINUE

K=NN

REORDENACAO DA MATRIZ AR
NUMERACAO ORIGINAL

NX=NN+ICRL(K2)

DO 87 KE=1,NX

IF(IRL(KE)-1)86,85,94

94 CALL ERRO(3,3,94)

85 K=K+1

AR(KE)=AR(K)

GO TO 87

86 AR(KE)=0.

87 CONTINUE

ICHV=5

CALL RESUL

GO TO(801,802),JIR

801 CONTINUE

WRITE(ISAI,2)XN

```

2  FORMAT(1H0,'RESULTADOS PARCIAIS PARA O HARMONICO N',F4.0)
   WRITE(ISAI,3)XN
   WRITE(ISAI,4)(KA,D(4*KA-3),D(4*KA-2),D(4*KA-1),D(4*KA),KA=1,NJ)
3  FORMAT(1H0,'DESLOCAMENTOS NO SISTEMA GLOBAL (X1000)',//,1H ,
* 'PARA O HARMONICO N',F4.0/
* 1H , '      JUNTA',4X,'DESL X',4X,'DESL Y',3X,' DESL Z',2X,
* 'ROTACAO Z')
4  FORMAT(1H ,I10,3P4F10.4)
   IF(NRJ)500,501,502
500 CALL ERRO(8,0,500)
501 WRITE(ISAI,504)
504 FORMAT(1H0,'AS REACOES DE APOIO SAO TODAS NULAS')
   GO TO 802
502 WRITE(ISAI,5)XN
5  FORMAT(1H0,'REACOES DE APOIO NO SISTEMA GLOBAL',
* /1H , 'PARA O HARMONICO N'
* ,F4.0/ 1H , '      JUNTA',4X,
* 'REAC X',4X,'REAC Y',4X,'REAC Z',1X,'MOMENTO Z')
   DO 505 K=1,NRJ
   KA=JRE(K)
505 WRITE(ISAI,9)KA,AR(4*KA-3),AR(4*KA-2),AR(4*KA-1),AR(4*KA)
9  FORMAT(1H ,I10,4F10.3)
802 CONTINUE
   WRITE(12'NUMCA)D
   WRITE(13'NUMCA)AR
   RETURN
   END

```

```

C      SUBROTINA ESFORCOS E DESLOCAMENTOS NOS BORDOS      SUBROTINA NUM 9
      SUBROUTINE ESBOR
      DIMENSION AM(30,8),DM(30,8),SMR(8,8),SM(8,8)
      DIMENSION ILB(30),ICLB(30),IW(8)
      DIMENSION AMLB(8),DMLB(8),SMLB(8,8),SLD(8),ASD(8)
      COMMON MM,NJ,NN,E,XMUE,JJ(30),JK(30),XLZA(30),H(30),XL,CX(30),
      *CY(30),IRL(80),ICRL(80),IQ,I2,IDIM,XNOME(18),ICC,IHA,MLB(30),
      *Q(40),NQR(40),NUMCA,NUMOH,XN,AML(30,8),D(80),AC(80),NUM,NLJ,
      *NLM,FX(20),FY(20),XMZ(20),PX(30),PY(30),JC(20),MC(30),NRJ,JRE(20),
      *IPRT(6),ISAI,IENT,ICHV,JIR,NMT,PZ(30),FZ(30),IDA,NCJ,NCM,
      *EP(8),XMUEP(8),EM(8),XMUEM(8),MAT(8),HP(30),HM(30),NML,LIB(30,8)
      ICHV=6
      CALL RESUL
      GO TO(8971,8972),JIR
3971  CONTINUE
      WRITE(ISAI,8970)
8970  FORMAT(' ESBOR')
8972  CONTINUE
      ICHV=5
      CALL RESUL
      GO TO(811,812),JIR
811  CONTINUE
      WRITE(ISAI,1)XN
      1 FORMAT(1H0,'ESFORCOS NAS EXTREMIDADES DOS ELEMENTOS NO SISTEMA LOC
      *AL'/1H,'PARA O HARMONICO N',F4.0
      +/1H,'1X','MEMB',1X,'JUNT',3X,'FORCA X',3X,'FORCA Y',
      *3X,'FORCA Z',1X,'MOMENTO Z')
812  CONTINUE
      NQ=NQR(NUMCA)
      XN=Q(NQ)
      DO 111 IM=1,MM
      K4=2*(MM*NQ-MM+IM)-1
      READ(10,K4)((SMR(IX,JX),IX=1,4),JX=1,8)
      K4=K4+1
      READ(10,K4)((SMR(IX,JX),IX=5,8),JX=1,8)

C      ESFORCOS NOS BORDOS DOS ELEMENTOS
C      SISTEMA LOCAL
C
      DO 10 J=1,8
      AM(IM,J)=AML(IM,J)
      DO 2 L=1,4
      JJJ=4*JJ(IM)-4+L
      2 AM(IM,J)=AM(IM,J)+SMR(J,L)*D(JJJ)
      DO 3 L=5,8
      JKJ=4*JK(IM)-8+L
      3 AM(IM,J)=AM(IM,J)+SMR(J,L)*D(JKJ)
      10 CONTINUE

```

```

      ICHV=5
      CALL RESUL
      GO TO(801,802),JIR
801  CONTINUE
      WRITE(ISAI,11)IM,JJ(IM),(AM(IM,KA),KA=1,4),
      *      IM,JK(IM),(AM(IM,KA),KA=5,8)
      11  FORMAT(1H ,2I5,4F10.3)
802  CONTINUE
111  CONTINUE
      IF(MM-30)201,201,202
201  WRITE(14'NUMCA)((AM(K,L),L=1,8),K=1,MM)
      GO TO 203
202  WRITE(14'NUMCA)((AM(K,L),L=1,8),K=1,20)
      WRITE(15'NUMCA)((AM(K,L),L=1,8),K=21,MM)
203  WRITE(ISAI,15)XN
      15  FORMAT(1H0,'DESLOCAMENTOS DOS ELEMENTOS NO SISTEMA LOCAL (X1000)'
      * /1H , 'PARA O HARMONICO N',F4.0
      * /1H ,1X,'MEMB JUNT',3X,'DESL X',3X,'DESL Y',3X,'DESL Z',4X,'ROT
      * Z')
C
C      DESLOCAMENTOS NOS BORDOS DOS ELEMENTOS
C      SISTEMA LOCAL
C
      DO 320 IM=1,MM
      DO 310 KW=1,2
      JRF=JJ(IM)
      IF(KW.EQ.2) JRF=JK(IM)
      DM(IM,4*KW-3)=CX(IM)*D(4*JRF-3)+CY(IM)*D(4*JRF-2)
      DM(IM,4*KW-2)=-CY(IM)*D(4*JRF-3)+CX(IM)*D(4*JRF-2)
      DM(IM,4*KW-1)=D(4*JRF-1)
      DM(IM,4*KW)=D(4*JRF)
310  CONTINUE
      IF(NML)330,340,330
C
C      ALTERACAO DOS DESLOCAMENTOS NOS BORDOS
C      PARA ELEMENTOS COM LIBERACOES
C
330  CONTINUE
      DO 720 IML=1,NML
      KB=NML+NQ-NML-IML
      IM=MLB(IML)
      READ(22'KB)((SM(IX,JX),IX=1,8),JX=1,8)
      DO 830 K=1,8
850  ILB(K)=LIB(IM,K)
      ICLB(1)=ILB(1)
      DO 831 K=2,8
831  ICLB(K)=ICLB(K-1)+ILB(K)
      NLIB=ICLB(8)

```

```

      DO 840 K=1,8
      IF(ILB(K))841,842,841
842  IW(K)=NLIB+K-ICLB(K)
      GO TO 840
841  IW(K)=ICLB(K)
840  CONTINUE
      DO 850 K=1,8
      I=IW(K)
      AMLB(I)=AML(IM,K)
      DMLB(I)=DM(IM,K)
      DO 850 KK=1,8
      J=IW(KK)
850  SMLB(I,J)=SM(K,KK)
      CALL INVER(SMLB,NLIB)
      DO 870 I=1,NLIB
      SLD(I)=0.
      JIN=NLIB+1
      DO 860 J=JIN,8
860  SLD(I)=SLD(I)+SMLB(I,J)*DMLB(J)
870  ASD(I)=AMLB(I)+SLD(I)
      DO 880 I=1,NLIB
      DMLB(I)=0.
      DO 880 J=1,NLIB
880  DMLB(I)=DMLB(I)-SMLB(I,J)*ASD(J)
      DO 890 K=1,8
      IF(ILB(K))891,890,891
891  I=IW(K)
      DM(IM,K)=DMLB(I)
890  CONTINUE
720  CONTINUE
340  ICHV=5
      CALL RESUL
      GO TO(701,320),JIR
701  CONTINUE
      WRITE(ISAI,702)IM,JJ(IM),(DM(IM,KA),KA=1,4),
*           IM,JK(IM),(DM(IM,KA),KA=5,8)
702  FORMAT(1H ,2I5,3P4F10.4)
320  CONTINUE
      IF(MM-30)501,501,502
501  WRITE(20'NUMCA)((DM(K,L),L=1,8),K=1,MM)
      GO TO 204
502  WRITE(20'NUMCA)((DM(K,L),L=1,8),K=1,20)
      WRITE(21'NUMCA)((DM(K,L),L=1,8),K=21,MM)
204  RETURN
      END

```

```

C      SUBROTINA RESULTADOS FINAIS                                SUBROTINA NUM 10
      SUBROUTINE RESFI
      DIMENSION AR(30),AM(30,8),DM(30,8),QNOR(40),DMAUX(30,8)
      DIMENSION DAUX(30),ARAUX(30),AMAUX(30,8),XSABL(20),ID1(6),ID2(2)
      COMMON MM,NJ,NN,E,XMJE,JJ(30),JK(30),XL2A(30),H(30),XL,CX(30),
      *CY(30),IRL(80),ICRL(80),IQ,I2,IDIM,XNOME(18),ICC,IHA,MLB(30),
      *Q(40),NOR(40),NUMCA,NUMOH,XN,AML(30,8),D(80),AC(80),NUM,NLJ,
      *NLM,FX(20),FY(20),XMZ(20),PX(30),PY(30),JC(20),MC(30),NRJ,JRE(20),
      *IPRT(6),ISAI,IENT,ICHV,JIR,NMT,PZ(30),FZ(30),IDA,NCJ,NCM,
      *EP(8),XMJEP(8),EM(8),XMUEM(8),MAT(8),HP(30),HM(30),NML,LIB(30,8)
      EQUIVALENCE (AC(1),AR(1)),(AM(1,1),AML(1,1))
      ICHV=6
      CALL RESUL
      GO TO(3971,3972),JIR
3971 CONTINUE
      WRITE(ISAI,3970)
3970 FORMAT(' RESFI')
3972 CONTINUE
      K2=4*NJ
      WRITE(ISAI,3)XNOME,IHA,(NOR(KA),KA=1,IHA)
3   FORMAT(14I,13A4/140,'RESULTADOS FINAIS'
      */140,'HARMONICOS UTILIZADOS'/1H ,3X,'QUANTOS',3X,'NUM ORD'/1H ,
      *7I10,8(/I21,5I10))
      WRITE(ISAI,1578)
1578 FORMAT(1H , 3X,'VALORES DE N CORRESPONDENTES')
      DO 4 I=1,IHA
      IK=NOR(I)
4   QNOR(I)=Q(IK)
      WRITE(ISAI,5)(QNOR(I),I=1,IHA)
5   FORMAT(1X,F21.0,5F10.0)

C      LEITURA E IMPRESSAO DAS SECOES ONDE SERAO DADOS OS RESULTADOS
C
C      *
C      *
C      *
C      *
      READ(IENT,11) IQPT,(XSABL(KA),KA=1,7)
11  FORMAT(I10,7F10.0)
      IF(IQPT-7)40,40,41
41  READ(IENT,42)(XSABL(KA),KA=8,IQPT)
42  FORMAT(8F10.0)
40  WRITE(ISAI,12)IQPT,(XSABL(KA),KA=1,IQPT)
12  FORMAT(140,'SECOES PARA AS QUAIS OS ESFORÇOS E DESLOCAMENTOS SERAO
      * CALCULADOS'/1H ,3X,'QUANTAS',2X,'RELACOES Z/L'/1H ,I10,6F10.3
      *,4(/F21.3,5F10.3))
      ID1(1)=1
      ID1(2)=2
      ID1(3)=4
      ID1(4)=5

```

```

ID1(5)=6
ID1(6)=8
ID2(1)=3
ID2(2)=7
DO 16 IU=1,IGPT
DO 13 K=1,K2
D(K)=0.
13 AR(K)=0.
DO 14 LO=1,MM
DO 14 LU=1,8
DM(LO,LU)=0.
14 AM(LO,LU)=0.
DO 15 K=1,IHA
READ(13,K) ARAUX
IF(MM-20)201,201,202
201 READ(14,K)((AMAUX(KA,L),L=1,8),KA=1,MM)
READ(20,K)((DMAUX(KA,L),L=1,8),KA=1,MM)
GO TO 203
202 READ(14,K)((AMAUX(KA,L),L=1,8),KA=1,20)
READ(15,K)((AMAUX(KA,L),L=1,8),KA=21,MM)
READ(20,K)((DMAUX(KA,L),L=1,8),KA=1,20)
READ(21,K)((DMAUX(KA,L),L=1,8),KA=21,MM)
203 READ(12,K)DAUX
ALF=QNOR(K)*3.141593*XS0BL(IU)
SA=SIN(ALF)
CA=COS(ALF)

```

C
C
C
C

RESULTADOS FINAIS DAS REACOES E DESLOCAMENTOS NAS JUNTAS
SISTEMA GLOBAL

```

DO 18 KA=1,NJ
DO 17 L1=1,3
IA=4*KA-4+ID1(L1)
D(IA)=D(IA)+DAUX(IA)*SA
17 AR(IA)=AR(IA)+ARAUX(IA)*SA
IA=4*KA-1
D(IA)=D(IA)+DAUX(IA)*CA
AR(IA)=AR(IA)+ARAUX(IA)*CA
18 CONTINUE
DO 19 KA=1,MM
DO 20 L1=1,6
IA=ID1(L1)
DM(KA,IA)=DM(KA,IA)+DMAUX(KA,IA)*SA
20 AM(KA,IA)=AM(KA,IA)+AMAUX(KA,IA)*SA
DO 21 L1=1,2
IA=ID2(L1)
DM(KA,IA)=DM(KA,IA)+DMAUX(KA,IA)*CA
21 AM(KA,IA)=AM(KA,IA)+AMAUX(KA,IA)*CA

```

```

19 CONTINUE
15 CONTINUE
  WRITE(ISAI,6)IU,XSOBL(IU)
6  FORMAT(1H0,'DESLOCAMENTOS NO SISTEMA GLOBAL (X1000)',
*/1H , 'PARA A SECAO',I3,' DE COORD Z/L=',F5.3/1H ,5X,'JUNTA',4X,
*'DESL X',4X,'DESL Y',4X,'DEL Z',5X,'ROT Z')
  WRITE(ISAI,7)(I,D(4*I-3),D(4*I-2),D(4*I-1),D(4*I),I=1,NJ)
7  FORMAT(1H ,I10,3P4F10.4)
  IF(NRJ)400,401,402
400 CALL ERRO(10,0,400)
401 WRITE(ISAI,405)
405 FORMAT(1H0, 'AS REACOES DE APOIO SAO TODAS NULAS')
  GO TO 403
402 WRITE(ISAI,8)IU,XSOBL(IU)
  8  FORMAT(1H0,'REACOES DE APOIO NO SISTEMA GLOBAL',/1H , 'PARA A SECAO
*',I3,' DE COORD Z/L=',F5.3/1H ,5X,'JUNTA',4X,
*'REAC X',4X,'REAC Y',4X,'REAC Z',1X,'MOMENTO Z')
  DO 404 K=1,NRJ
  I=JRE(K)
404 WRITE(ISAI,9)I,AR(4*I-3),AR(4*I-2),AR(4*I-1),AR(4*I)
  9  FORMAT(1H ,I10,4F10.3)
403 WRITE(ISAI,10)IU,XSOBL(IU)
  10 FORMAT(1H0,'ESFORÇOS NOS ELEMENTOS NO SISTEMA LOCAL',
*/1H , 'PARA A SECAO',I3,' DE COORD Z/L=',F5.3/
*1H ,1X,'MEMB' ,1X,'JUNT' ,3X,'FORÇA X',3X,'FORÇA Y',3X,'FORÇA Z',
*1X,'MOMENTO Z')
  WRITE(ISAI,88)(IM,JJ(IM),(AM(IM,KA),KA=1,4),IM,JK(IM),
*(AM(IM,KA),KA=5,8),IM=1,MM)
88  FORMAT(1H ,2I5,4F10.3)
  WRITE(ISAI,503)IU,XSOBL(IU)
503 FORMAT(1H0,'DESLOCAMENTOS DOS ELEMENTOS NO SISTEMA LOCAL (X1000)',
*/1H , 'PARA A SECAO',I3,' DE COORD Z/L=',F5.3/
*1H ,1X,'MEMB',1X,'JUNT',4X,'DESL X',4X,'DESL Y',4X,'DESL Z',
*5X,'ROT Z')
  WRITE(ISAI,504)(IM,JJ(IM),(DM(IM,KA),KA=1,4),IM,JK(IM),
*(DM(IM,KA),KA=5,8),IM=1,MM)
504 FORMAT(1H ,2I5,3P4F10.4)
16 CONTINUE
  RETURN
  END

```



```

C   SUBROTINA  ALTERNATIVAS PARA SAIDA DE RESULTADOS SUBROTINA NUM 11
      SUBROUTINE RESUL
      COMMON MM,NJ,NN,E,XMUE,JJ(30),JK(30),XL2A(30),H(30),XL,CX(30),
      *CY(30),IRL(80),ICRL(30),IQ,I2,IDIM,XNOME(18),ICC,IHA,MLB(30),
      *Q(40),NOR(40),NUMCA,NUMOH,XN,AML(30,8),D(80),AC(80),NUM,NLJ,
      *NLM,FX(20),FY(20),XMZ(20),PX(30),PY(30),JC(20),MC(30),NRJ,JRE(20),
      *IPRT(6),ISAI,IENT,ICHV,JIR,NMT,PZ(30),FZ(30),IDA,NCJ,NCM,
      *EP(8),XMUEP(8),EM(3),XMUEM(8),MAT(8),HP(30),HM(30),NML,LIB(30,8)
      JIR=IPRT(ICHV)+1
      RETURN
      END

```

```

C   SUBROTINA  RELATORIO DAS CHAVES ACIONADAS SUBROTINA NUM 12
      SUBROUTINE CHAVE
      COMMON MM,NJ,NN,E,XMUE,JJ(30),JK(30),XL2A(30),H(30),XL,CX(30),
      *CY(30),IRL(80),ICRL(30),IQ,I2,IDIM,XNOME(18),ICC,IHA,MLB(30),
      *Q(40),NOR(40),NUMCA,NUMOH,XN,AML(30,8),D(80),AC(80),NUM,NLJ,
      *NLM,FX(20),FY(20),XMZ(20),PX(30),PY(30),JC(20),MC(30),NRJ,JRE(20),
      *IPRT(6),ISAI,IENT,ICHV,JIR,NMT,PZ(30),FZ(30),IDA,NCJ,NCM,
      *EP(8),XMUEP(8),EM(3),XMUEM(8),MAT(8),HP(30),HM(30),NML,LIB(30,8)
      DIMENSION LISCH(6)
      ICCH=0
      DO 1 KCH=1,6
      IF(IPRT(KCH))1,2,1
2  ICCH=ICCH+1
      LISCH(ICCH)=KCH
1  CONTINUE
      WRITE(ISAI,3)
3  FORMAT(1H1,10(/),' RELACAO DAS CHAVES ACIONADAS PARA IMPRESSAO')
      DO 4 KCH=1,ICCH
      LABEL=LISCH(KCH)
      GO TO(11,12,13,14,15,16),LABEL
11 WRITE(ISAI,110)
110 FORMAT(1H0,'CHAVE 1  DEPURACAO')
      GO TO 4
12 WRITE(ISAI,120)
120 FORMAT(1H0,'CHAVE 2  IMPRIMIR MATRIZES')
      GO TO 4
13 WRITE(ISAI,130)
130 FORMAT(1H0,'CHAVE 3  CALCULAR COMO QUADRO')
      GO TO 4
14 WRITE(ISAI,140)
140 FORMAT(1H0,'CHAVE 4  IMPRIMIR MATRIZES EM FORMATO LONGO (CHAVES
      *2 E 4)')
      GO TO 4
15 WRITE(ISAI,150)
150 FORMAT(1H0,'CHAVE 5  IMPRIMIR RESULTADOS PARCIAIS')
      GO TO 4
16 WRITE(ISAI,160)
160 FORMAT(1H0,'CHAVE 6  IMPRIMIR NOME DAS SUBROTINAS CHAMADAS')
4  CONTINUE
      RETURN
      END

```

SUBROTINA NUM 13

SUBROTINA LISTA DE ERROS

SUBROUTINE ERRO(IER1,IER2,IER3)

ISAI=6

WRITE(ISAI,1)IER1,IER2,IER3

1 FORMAT(1H0,'ERRO NA EXEC DO STRAPL SUBROTINA',I3,' IER2=',I5,'NUM
*ERO DE COMANDO',I5)

RETURN

END

SUBROTINA NUM 14

SUBROTINA PARA TESTE DA PARIDADE DO HARMONICO

SUBROUTINE TESPARG(XN,IPN)

IPN=XN

110 IF(IPN)106,111,109

109 IPN=IPN-2

GO TO 110

HARMONICO PAR

106 IPN=1

GO TO 113

HARMONICO IMPAR

111 IPN=2

113 CONTINUE

RETURN

END

SUBROUTINE PRINT1(ISAI,XN,NUMOH)

WRITE(ISAI,1)XN,NUMOH

1 FORMAT(1H0,'DADOS PARCIAIS PARA O HARMONICO N',F4.0/
*' NUM ORDEM'/1H ,I10)

RETURN

END

SUBROUTINE PRINT3(ISAI,XN)

WRITE(ISAI,1)XN

1 FORMAT(1H0,'ACCES NAS JUNTAS PARA O HARMONICO N',F4.0,
*/1H ,5X,'JUNTA',3X,'FORCA X',3X,'FORCA Y',3X,'FORCA Z',
*1X,'MOMENTO Z')

RETURN

END

SUBROUTINE PRINT2(ISAI)

WRITE(ISAI,1)

1 FORMAT(1H0,'AS JUNTAS NAO FORAM CARREGADAS')

RETURN

END

```

SUBROUTINE PRINT4(ISAI)
WRITE(ISAI,1)
1 FORMAT(1H0,'OS ELEMENTOS NAO FORAM CARREGADOS')
RETURN
END

```

```

SUBROUTINE PRINT5(ISAI,XN)
WRITE(ISAI,1)XN
1 FORMAT(1H0,'ACOES NAS EXTREMIDADES DOS ELEM. BI-ENGASTADOS'
*,1X,'(SISTEMA LOCAL)',/,1H,'PARA O HARMONICO N',F4.0/
*,1X,'MEMB',3X,'JUNT',3X,'FORCA X',3X,'FORCA Y',3X,'FORCA Z',1X,
*,1X,'MOMENTO Z')
RETURN
END

```

C SUBROTINA PARA INVERSAO DA MATRIZ DE RIGIDEZ SUBROTINA NUM 15
C DE ELEMENTOS COM LIBERACOES
C

```

SUBROUTINE INVER(A,N)
DIMENSION A(3,3),G(3),H(3)
NN=N-1
A(1,1)=1./A(1,1)
DO 110 M=1,NN
K=M+1
DO 60 I=1,M
G(I)=0.
DO 60 J=1,M
60 G(I)=G(I)+A(I,J)*A(J,K)
D=0.
DO 70 I=1,M
70 D=D+A(K,I)*G(I)
E=A(K,K)-D
A(K,K)=1./E
DO 80 I=1,M
80 A(I,K)=-G(I)*A(K,K)
DO 90 J=1,M
H(J)=0.
DO 90 I=1,M
90 H(J)=H(J)+A(K,I)*A(I,J)
DO 100 J=1,M
100 A(K,J)=-H(J)*A(K,K)
DO 110 I=1,M
DO 110 J=1,M
110 A(I,J)=A(I,J)-G(I)*A(K,J)
RETURN
END

```

PROGRAMA CHAPA

ESTE PROGRAMA DESTINA-SE AO CALCULO DOS
ESFORÇOS NO INTERIOR DO ELEMENTO A PARTIR
DAS CONDIÇÕES DE BORDO (COMPORTAMENTO DE
CHAPA)

PREPARADO POR ALVARO F. A. MOTTA

COBRAPI RAMAL 400

ESTA VERSAO ADOTA OS SEGUINTEs SISTEMAS DE EIXOS
INTERNAMENTE === GOLDBERG-LEVE
EXTERNAMENTE === STRAPL

```

REAL NX(15,15),NY(15,15),NXY(15,15),NI
REAL N,NXM(10,15,15),NYM(10,15,15),NXYM(10,15,15),LB
DIMENSION SX(15),SY(15),NNH(10),SZM(15),SXM(15),XNOME(18)
DIMENSION B(4,4),D(4),A(4),FN(3),C(3,4)
IENT=5
ISAI=6

```

IDENTIFICACAO DO PROBLEMA A SER ANALISADO

LEITURA E IMPRESSAO DOS DADOS GERAIS DO ELEMENTO A SER ANALISADO

★ CARTAO A ★
★ CARTAO B ★

```
9999 READ(IENT,1,END=4066)XNOME,J,XL,XL2A,EM,XMUEM,HM,ITEST
```

```
1  FORMAT(18A4,/,I10,5F10.0,I10)
```

```
WRITE (ISA1,2) XNOME
```

```
2  FORMAT(1H1,1SA4,///)
```

```
WRITE (ISAI,3) J,XL,XL2A,EM,XMUEM,HM
```

```
3 FORMAT(1H0,'DADOS DE ENTRADA',//,' ELEMENTO          VAO  COMPRIM.   M.  
*ELAST. C. POISSON  ESPESSURA',//,I10,2F10.3,F10.0,2F10.3)
```

LEITURA E IMPRESSAO DAS SECOES TRANSVERSAIS A SEREM ANALISADAS
COORDENADAS X/L (INT.) Z/L (EXT.)

★ CARTAO C ★

```
READ(IENT,4)NSZM,(SZM(KZ),KZ=1,7)
```

```
4  FORMAT(I10,7F10.0)
```

IF (NSZM-7) 7,7,5

```
5 READ(IENT,6)(SZM(KZ),KZ=8,NSZM)
```

```
6  FORMAT(8F10.0)
```

[illegible]

```

7 CONTINUE
  WRITE(ISAI,8)NSZM,(SZM,(KZ),KZ=1,NSZM)
8  FORMAT(1H0,'SECOES TRANSV ANALISADAS',I5,/, ' Z/L=',15F7.4)
  NSX=NSZM
  DO 9 KX=1,NSX
    SX(KX)=SZM(KX)
9 CONTINUE

```

LEITURA E IMPRESSAO DAS SECOES LONGITUDIONAIS A SEREM ANALISADAS
COORDENADAS Y/B(INT.) X/B (EXT.)

* *
* CARTAO D *
* *

```

      READ(IENT,10)NSXM,(SXM(KX),KX=1,7)
10  FORMAT(10,7F10.0)
      IF(NSXM-7)13,13,11
11  READ(IENT,12)(SXM(KX),KX=8,NSXM)
12  FORMAT(8F10.0)
13  CONTINUE
      WRITE(ISAI,14)NSXM,(SXM(KX),KX=1,NSXM)
14  FORMAT(1H0,'SECOES LONGIT ANALISADAS',I5,/, ' X/B=',15F7.4)
      NSY=NSXM
      DO 15 KY=1,NSY
      SY(KY)=1.-SXM(KY)
15  CONTINUE

```

LEITURA E IMPRESSAO DOS HARMONICOS A SEREM UTILIZADOS NO
DESENVOLVIMENTO EM SERIE DE FOURIER

* *

* CARTAO E *

* *

```

      READ(IENT,16) IHA,(NNH(I),I=1,IHA)
16  FORMAT(11I5)
      WRITE(ISAI,17) IHA,(NNH(I),I=1,IHA)
17  FORMAT(1H0,'FORAM UTILIZADOS',I5,' HARMONICOS',4X,'N=',10I3)

```

LIMPESA DAS AREAS DE TRABALHO

```

DO 101 NH=1, IHA
DO 101 KX=1, NSX
DO 101 KY=1, NSY
NXM(NH,KX,KY)=0.
NYM(NH,KX,KY)=0.
101 NXYM(NH,KX,KY)=0.
DO 740 KX=1, NSX
DO 740 KY=1, NSY
NX(KX,KY)=0.
NY(KX,KY)=0.

```

740 NXY(KX,KY)=0.

C
C
C
CONSTANTES GERAIS

LB=(3.-XMUEM)/(1.+XMUEM)
F1=1.+XMUEM
F2=1.-XMUEM
F3=F2/F1
F4=2./F1
F5=F4*XMUEM
DL=EM*HM/F1
DO 3000 NH=1,IHA
N=FLOAT(NNH(NH))
XN=N*3.141593
BB=XN/XL
BT=BB*XL2A
SH=(EXP(BT)-EXP(-BT))*0.5
CH=(EXP(BT)+EXP(-BT))*0.5

C
C
C
TESTE

IF(ITEST)501,504,501
501 WRITE(ISAI,502)N
502 FORMAT(1H1,'CONSTANTES PARA O HARMONICO=',F5.3)
WRITE(ISAI,503)BT,SH,CH
503 FORMAT(' BT=',F10.7,3X,' SH=',F10.5,3X,' CH=',F10.5)
504 CONTINUE

C
C
C
FORMACAO DA MATRIZ B

FB1=LB*SH
FB2=FB1*SH
FB3=FB1*CH
FB4=BT-FB3
FB5=BT+FB3
FB6=BT*SH
FB7=BT*CH
FB8=FB7+FB1
FB9=FB7-FB1
AL=BT*BT-FB1*FB1
FDA=DL*BB/AL
B(1,1)=AL
B(2,1)=-LB*FB4
B(3,1)=-FB4
B(4,1)=-FB2
B(1,2)=0.
B(2,2)=BT*BT
B(3,2)=FB2

```

B(4,2)=-FB5
B(1,3)=0.
B(2,3)=LB*FB9
B(3,3)=FB9
B(4,3)=-FB6
B(1,4)=0.
B(2,4)=-LB*FB6
B(3,4)=-FB6
B(4,4)=FB8

```

```

C
C
C
TESTE

```

```

IF(ITEST)505,508,505
505 WRITE(ISAI,520)NNH(NH)
520 FORMAT(1H0,'MATRIZ B PARA O HARMONICO N=',I3)
DO 506 J=1,4
WRITE(ISAI,507)J,B(1,J),B(2,J),B(3,J),B(4,J)
507 FORMAT(1H0,'COLUNA',I3,4(F10.5,3X))
506 CONTINUE
508 CONTINUE

```

```

C
C
C
LEITURA E IMPRESSAO DOS DESLOCAMENTOS DOS BORDOS

```

```

*
*
* CARTAO F *
*
*
```

```

READ(IENT,50)UI,VI,UJ,VJ
50 FORMAT(4F10.0)
D(1)=0.001*UJ
D(2)=-0.001*VJ
D(3)=0.001*UI
D(4)=-0.001*VI
WRITE(ISAI,51)NNH(NH),UI,VI,UJ,VJ
51 FORMAT(1H0,'DESLOCAMENTOS NOS BORDOS DO ELEMENTO',/,
*' PARA O HARMONICO N=',I3,/,
*' UI=',F10.5,3X,'VI=',F10.5,/,
*' UJ=',F10.5,3X,'VJ=',F10.5)

```

```

C
C
C
FORMACAO DA MATRIZ A

```

```

DO 352 I=1,4
A(I)=0.
DO 52 J=1,4
A(I)=A(I)+B(I,J)*D(J)
52 CONTINUE
A(I)=A(I)*FDA
352 CONTINUE

```

```

C
C
TESTE

```

```

C      WRITE(ISAI,521)A(1),A(2),A(3),A(4)
521  FORMAT(1H0,'MATRIZ  A',4(3X,F10.5))
C
C      PERCURSO SEGUNDO AS SECOES LONGITUDINAIS
C      COORDENADAS Y/B (INT.)                X/B (EXT.)
C
      DO 2000 KY=1,NSY
      NI=BT*SY(KY)
      SHN=(EXP(NI)-EXP(-NI))*0.5
      CHN=(EXP(NI)+EXP(-NI))*0.5
C
C      FORMACAO DA MATRIZ  C  PARA CADA SECAO LONGITUDINAL
C
      FC1=NI*SHN
      FC2=NI*CHN
      FC3=F4*SHN
      FC4=F4*CHN
      FC5=F3*SHN
      FC6=F3*CHN
      FC7=F5*SHN
      FC8=F5*CHN
      C(1,1)=-CHN
      C(1,2)=-SHN
      C(1,3)=-FC2-FC7
      C(1,4)=-FC1-FC8
      C(2,1)=CHN
      C(2,2)=SHN
      C(2,3)=FC2-FC3
      C(2,4)=FC1-FC4
      C(3,1)=SHN
      C(3,2)=CHN
      C(3,3)=FC1-FC6
      C(3,4)=FC2-FC5
C
C      TESTE
C
      IF(ITEST)522,526,522
522  WRITE(ISAI,523)SXM(KY)
523  FORMAT(1H0,'MATRIZ  C  PARA X/B=',F10.5)
      DO 525 I=1,3
      WRITE(ISAI,524)I,C(I,1),C(I,2),C(I,3),C(I,4)
524  FORMAT(1H0,'LINHA',I3,4(3X,F10.5))
525  CONTINUE
526  CONTINUE
      DO 62 I=1,3
      FN(I)=0.
      DO 62 J=1,4

```



```

      FN(I)=FN(I)+C(I,J)*A(J)
62  CONTINUE
C
C      TESTE
C
      WRITE(ISAI,527)FN(1),FN(2),FN(3)
527  FORMAT(1H0,'MATRIZ FN',3(3X,F10.5))
C
      PERCURSO SEGUNDO AS SECOES TRANSVERSAIS
      COORDENADAS X/L (INT.)              Z/L (EXT.)
C
      DO 1000 KX=1,NSX
      ALF=XN*SX(KX)
      CA=COS(ALF)
      SA=SIN(ALF)
      NXM(NH,KX,KY)=FN(1)*SA
      NYM(NH,KX,KY)=FN(2)*SA
      NXYM(NH,KX,KY)=FN(3)*CA
1000 CONTINUE
2000 CONTINUE
3000 CONTINUE
C
      RESULTADOS FINAIS PARA OS ESFORCOS NO INTERIOR DO ELEMENTO
C
      DO 4000 NH=1,IHA
      WRITE(ISAI,2)XNOME
      WRITE(ISAI,302)NNH(NH)
302  FORMAT(1H0,'ESFORCOS DE CHAPA DEVIDO AOS DESLOCAMENTOS DE BORDO'
      *//,' PARA O HARMONICO',I5,/,3X,' COORD Z',4X,'COORD X',
      *6X,'NZ',3X,'NX',7X,'NZX')
      DO 4000 KY=1,NSY
      DO 4000 KX=1,NSX
      NX(KX,KY)= NX(KX,KY)+ NXM(NH,KX,KY)
      NY(KX,KY)= NY(KX,KY)+ NYM(NH,KX,KY)
      NXY(KX,KY)=NXY(KX,KY)+NXYM(NH,KX,KY)
      WRITE(ISAI,632)SZM(KX),SXM(KY),NXM(NH,KX,KY),NYM(NH,KX,KY),
      *NXYM(NH,KX,KY)
632  FORMAT(5F10.5)
4000 CONTINUE
      WRITE(ISAI,607)
607  FORMAT(1H1,'ESFORCOS FINAIS DE CHAPA')
      WRITE(ISAI,608)
608  FORMAT(1H , 'SEGUNDO AS SECOES TRANSVERSAIS',/,3X,' COORD Z',4X,
      *'COORD X',6X,'NZ',8X,'NX',7X,'NZX')
      DO 4050 KX=1,NSX
      DO 4050 KY=1,NSY
      WRITE(ISAI,710)SZM(KX),SXM(KY),NX(KX,KY),NY(KX,KY),NXY(KX,KY)
710  FORMAT(5F10.5)

```

```
4050 CONTINUE
      WRITE(ISAI,607)
      WRITE(ISAI,609)
609  FORMAT(1H , 'SEGUNDO AS SECOES LONGITUDINAIS' ,//,3X, ' COORD X' ,4X,
* 'COORD Z' ,6X, 'NZ' ,3X, 'NX' ,7X, 'NZX' )
      DO 4060 KY=1,NSY
      DO 4060 KX=1,NSX
      WRITE(ISAI,710)SXM(KY),SZM(KX),NX(KX,KY),NY(KX,KY),NXY(KX,KY)
4060 CONTINUE
      GO TO 9999
4066 CONTINUE
      STOP
      END
```

```

C      SISTEMA STRAPL      VERSAO 01      COPPE/UFRJ
C
C      PROGRAMA PLACA
C
C      ESTE PROGRAMA DESTINA-SE AO CALCULO DOS
C      MOMENTOS FLETORES NO INTERIOR DO ELEMENTO
C      A PARTIR DAS CONDICAOES DE BORDO E DAS CAR
C      GAS APLICADAS (COMPORTAMENTO DE PLACA)
C
C      PREPARADO POR      ALVARO F. A. MOTTA
C
C      COBRAPI RAMAL 400
C
C      ESTA VERSAO ADOTA O SEGUINTE SISTEMAS DE EIXOS      CORRESPONDENCIA
C      INTERNAMENTE ==== CHU-DUDNIK      X Y MX MY
C      EXTERNAMENTE ==== STRAPL      Z X MX MZ
C
C      REAL N,MI,MJ,NI,NTH,NIC,NTHC,MXS(15,15),MYS(15,15),MXMC(10,15,15),
C      *MYMC(10,15,15),MXMS(10,15,15),MYMS(10,15,15)
C      REAL MX(15,15),MY(15,15),MXC(15,15),MYC(15,15),MICD,MJCD
C      DIMENSION IT(8),P(8),D1(8),D2(8),D3(8),SX(15),SY(15),NNH(10)
C      DIMENSION TIPP(4),DIRP(4),IDA(8),SZM(15),SXM(15),XNOME(18)
C      DATA TIPP/'UNIF','PARC','CONC','TRIG'/,DIRP/'FX','FY','FZ','MZ'/
C      IENT=5
C      ISAI=6
C
C      IDENTIFICACAO DO PROBLEMA A SER ANALISADO
C
C      LEITURA E IMPRESSAO DOS DADOS GERAIS DO ELEMENTO A SER ANALISADO
C
C      *
C      *
C      * CARTAO A *
C      *
C      *
C      * CARTAO B *
C      *
C
C      9999 READ(IENT,1,END=7506)XNOME,J,XL,XL2A,EP,XMUEP,HP,NCM,ICON,ITEST
C      1 FORMAT(18A4,/,I10,5F10.0,3I5)
C      WRITE(ISAI,301)XNOME
C      301 FORMAT(1H1,18A4,/,/,/,/)
C      WRITE(ISAI,221)J,XL,XL2A,EP,XMUEP,HP,NCM,ICON
C      221 FORMAT(1H0,'DADOS DE ENTRADA',/,/, 'ELEMENTO' VAO COMPRIM. M.
C      *ELAST. C. POISSON ESPESSURA N.CARGAS CONT.',/,/,I10,2F10.3,F10.0,2
C      *F10.3,2I10)
C      IF(NCM)4020,4030,4020
C      4020 CONTINUE
C
C      LEITURA E IMPRESSAO DAS CARGAS NOS ELEMENTOS
C
C      WRITE(ISAI,222)
C      222 FORMAT(1H0,'CARGAS APLICADAS NO ELEMENTO')

```

DO 20 IC=1,NCM

C
C
C

*
* CARTAO C *
*

READ(IENT,2)I,TIPO,DIR,VAL,ZA,ZB,ZC

2 FORMAT(I10,4X,A4,A2,4F10.3)

IF(I.NE.J) GO TO 20

IF(DIR.NE.DIRP(2)) GO TO 20

DO 807 INC=1,4

IF(TIPO.EQ.TIPP(INC)) IDE=INC

807 CONTINUE

GO TO(821,822,823,20),IDE

821 P(IC)=-VAL

IT(IC)=1

GO TO 824

822 P(IC)=-VAL

IT(IC)=2

D1(IC)=ZA

D2(IC)=ZB

GO TO 824

823 P(IC)=-VAL

IT(IC)=3

D1(IC)=ZB

D2(IC)=XL2A-ZA

D3(IC)=ZC

824 CONTINUE

ITC=IT(IC)

GO TO(21,22,23),ITC

21 WRITE(ISAI,2100)VAL

2100 FORMAT(1H0,'UNIF DISTR P=',F10.3)

GO TO 20

22 WRITE(ISAI,2200)VAL,ZA,ZB

2200 FORMAT(1H0,'PARC DISTR P=',F10.3,' ZA=',F6.2,' ZB=',F6.2)

GO TO 20

23 WRITE(ISAI,2300)VAL,ZA,ZB,ZC

2300 FORMAT(1H0,'CONCENT',6X,'P=',F10.3,' X=',F6.2,' Z=',F6.2,
*' C=',F6.2)

20 CONTINUE

4030 CONTINUE

C
C
C
C
C
C

LEITURA E IMPRESSAO DAS SECOES TRANSVERSAIS A SEREM ANALISADAS
COORDENADAS X/L (INT.) Z/L (EXT.)

*
* CARTAO D *
*

READ(IENT,3)NSZM,(SZM(KZ),KZ=1,7)

3 FORMAT(I10,7F10.0)

IF(NSZM-7)863,863,861

```
861 READ(IENT,862)(SZM(K2),KZ=8,NSZM)
862 FORMAT(8F10.0)
863 CONTINUE
WRITE(ISAI,4)NSZM,(SZM(KZ),KZ=1,NSZM)
4 FORMAT(1H0,'SECOES TRANSV. ANALISADAS',I5,/,', Z/L=',15F7.4)
NSX=NSZM
DO 871 KX=1,NSX
SX(KX)=SZM(KX)
871 CONTINUE

C
C LEITURA E IMPRESSAO DAS SECOES LONGITUDINAIS A SEREM ANALISADAS
C COORDENADAS Y/B (INT.) X/B (EXT.)
C
C * *
C * CARTAO E *
C * *
C
READ(IENT,5)NSXM,(SXM(KX),KX=1,7)
5 FORMAT(I10,7F10.0)
IF(NSXM-7)865,865,864
864 READ(IENT,862)(SXM(KX),KX=8,NSXM)
865 CONTINUE
WRITE(ISAI,6)NSXM,(SXM(KX),KX=1,NSXM)
6 FORMAT(1H0,'SECOES LONGIT. ANALISADAS',I5,/,', X/B=',15F7.4)
NSY=NSXM
DO 872 KY=1,NSY
SY(KY)=1.-SXM(KY)
872 CONTINUE

C
C LEITURA E IMPRESSAO DOS HARMONICOS A SEREM UTILIZADOS NO
C DESENVOLVIMENTO EM SERIE DE FOURIER
C
C * *
C * CARTAO F *
C * *
C
READ(IENT,7)IHA,(NNH(I),I=1,IHA)
7 FORMAT(11I5)
WRITE(ISAI,8)IHA,(NNH(I),I=1,IHA)
8 FORMAT(1H0,'FORAM UTILIZADOS',I5,', HARMONICOS',4X,',N=',10I3)

C
C LIMPEZA DAS AREAS DE TRABALHO
C
DO 1030 NH=1,IHA
DO 1030 KX=1,NSX
DO 1030 KY=1,NSY
MXMC(NH,KX,KY)=0.
MYMC(NH,KX,KY)=0.
MXMS(NH,KX,KY)=0.
MYMS(NH,KX,KY)=0.
1030 CONTINUE
DO 474 IC=1,8
```

```
474 IDA(IC)=1
    DO 1040 KX=1,NSX
    DO 1040 KY=1,NSY
    MXS(KX,KY)=0.
    MYS(KX,KY)=0.
    MXC(KX,KY)=0.
    MYC(KX,KY)=0.
    MX(KX,KY)=0.
    MY(KX,KY)=0.
1040 CONTINUE
    F1=1.+XMUEP
    F2=1.-XMUEP
    F3=F2*F2
    F4=F1*F2
    F5=F1/F2
    F6=2.*F5
    D=EP*(HP**3)/(12.*F4)

C
C     TESTE
C
    IF(ITEST)501,502,501
501  WRITE(ISAI,503)F1,F2,F3,F4,F5,F6,D
503  FORMAT(1H0,'CONSTANTES GERAIS DA ESTRUTURA',///,' F1=',F10.7,7X,
    *'F2=',F10.7,/,', F3=',F10.7,7X,'F4=',F10.7,/,', F5=',F10.7,7X,'F6=',
    *,F10.7,/,', D=',F10.4)
502  CONTINUE
    IF(ICON)8501,8502,8501

C
C     MOMENTOS FLETORES NO INTERIOR DO ELEMENTO
C     DEVIDO A CONDICAO DE CONTINUIDADE
C
8501 CONTINUE
    DO 8000 NH=1,IHA
    N=FLOAT(NNH(NH))
    XN=N*3.141593
    BB=XN/XL
    BT=BB*XL2A
    SH=(EXP(BT)-EXP(-BT))*0.5
    CH=(EXP(BT)+EXP(-BT))*0.5
    BTH=BT*CH/SH
    FBT=0.5*D*BB*BB*F3

C
C     TESTE
C
    IF(ITEST)505,506,505
505  WRITE(ISAI,507)N
507  FORMAT(1H1,'CONSTANTES PARA O HARMONICO N=',F5.3)
    WRITE(ISAI,775)BT,SH,CH,BTH
```

```
775 FORMAT(1H0,' BT=',F10.7,4X,'SH=',F10.5,4X,'CH=',F10.5,4X,'BTH=',
  *F10.7)
```

```
506 CONTINUE
```

C
C
C
C
C

```
LEITURA E IMPRESSAO DAS CONDICAOES DE BORDO
```

```
      *
      * CARTAO G *
      *
```

```
READ(IENT,11)WICD,WJCD,MICD,MJCD
```

```
11 FORMAT(4F10.0)
```

```
WI=0.001*WJCD
```

```
WJ=-0.001*WICD
```

```
MI=-MJCD
```

```
MJ=-MICD
```

```
WRITE(ISAI,801)N,WICD,MICD,WJCD,MJCD
```

```
801 FORMAT(1H0,'DADOS PARA OS BORDOS RELATIVOS AO HARMONICO N',F5.0,/,
```

```
* ' BORDO I',2X,'WI=',F10.7,5X,'MI=',F10.7,/,
```

```
* ' BORDO J',2X,'WJ=',F10.7,5X,'MJ=',F10.7)
```

C
C
C
C

```
PERCURSO SEGUNDO AS SECOES LONGITUDINAIS
```

```
COORDENADAS Y/B (INT.)          X/B (EXT.)
```

```
DO 7000 KY=1,NSY
```

```
NI=BT*SY(KY)
```

```
FMXC=0.
```

```
FMYC=0.
```

```
IBORD=1
```

```
8550 CONTINUE
```

```
GO TO (8551,8552,8553),IBORD
```

```
8551 NI=BT-NI
```

```
FXW=-WI
```

```
FXM=-MI
```

```
FYW=+WI
```

```
FYM=-MI
```

```
GO TO 8554
```

```
3552 NI=BT-NI
```

```
FXW=+WJ
```

```
FXM=+MJ
```

```
FYW=-WJ
```

```
FYM=+MJ
```

```
8554 CONTINUE
```

C
C
C

```
TESTE
```

```
IF(ITEST)302,304,302
```

```
302 WRITE(ISAI,303)SY(KY),IBORD,FXW,FXM,FYW,FYM
```

```
303 FORMAT(1H0,'CONSTANTES PARA A SECAO Y/B=',F6.4,4X,'BORDO=',I3,/,
```

```
* ' FXW=',F10.5,3X,'FXM=',F10.5,3X,'FYW=',F10.5,3X,'FYM=',F10.5)
```

```
304 CONTINUE
  IF(NI)743,514,743
743 IF(NI-3T)744,705,744
705 CN1=XMUEP
  CN2=1.
  CN3=D*BB*BB*F4
  CN4=0.
  GO TO 706
```

```
744 CONTINUE
  SHN=(EXP(NI)-EXP(-NI))*0.5
  CHN=(EXP(NI)+EXP(-NI))*0.5
  NTH=NI*CHN/SHN
  SNB=SHN/SH
  FD=FBT*SNB
  WC=8TH-NTH
  FMX=0.5*SNB*WC
  FMY=SNB-FMX
```

C
C
C

```
  TESTE

  IF(ITEST)509,511,509
509 WRITE(ISAI,774)NI,SHN,CHN,NTH
774 FORMAT(1H0,' NI=',F10.7,4X,'SH=',F10.5,4X,'CH=',F10.5,4X,'NTH=',
  *F10.7)
  WRITE(ISAI,305)SNB,FD,WC,FMX,FMY
305 FORMAT(1H0,'SNB=',F10.5,4X,'FD=',F10.5,4X,'WC=',F10.5,3X,
  *'FMX=',F10.5,3X,'FMY=',F10.5)
511 CONTINUE
  CN1=FMX+XMUEP*FMY
  CN2=FMY+XMUEP*FMX
  CN4=FD*WC
  CN3=CN4*(1.+F6/WC)
```

```
706 CONTINUE
  FMXC=FMXC+CN1*FXM+CN3*FXW
  FMYC=FMYC+CN2*FYM+CN4*FYW
```

C
C
C

```
  TESTE

  IF(ITEST)308,514,308
308 WRITE(ISAI,309)CN1,CN2,CN3,CN4,FMXC,FMYC
309 FORMAT(1H0,'CN1=',F10.5,3X,'CN2=',F10.5,3X,'CN3=',F10.5,3X,'CN4=',
  *F10.5,/,', FMXC=',F10.5,/,', FMYC=',F10.5)
```

```
514 CONTINUE
  IBORD=IBORD+1
  GO TO 8550
```

```
8553 CONTINUE
```

C
C

```
  PERCURSO SEGUNDO AS SECOES TRANSVERSAIS
```



```

C      COORDENADAS X/L (INT.)                X/L (EXT.)
C
      DO 6000 KX=1,NSX
      ALF=XN*SX(KX)
      CA=COS(ALF)
      SA=SIN(ALF)
      MXMC(NH,KX,KY)=FMXC*SA
      MYMC(NH,KX,KY)=FMYC*SA
6000 CONTINUE
7000 CONTINUE
8000 CONTINUE
C
C      RESULTADOS FINAIS PARA OS MOMENTOS FLETORES NO INTERIOR
C      DO ELEMENTO DEVIDO A CONDICAO DE CONTINUIDADE
C
      DO 7040 NH=1,IHA
      WRITE(ISA1,301)XNOME
      WRITE(ISA1,621)NNH(NH)
621  FORMAT(1H0,'ESFORÇOS DE PLACA DEVIDO AS ACOES E DESLOC NOS BORDOS'
*//,' PARA O HARMONICO',I5//,' COORD X',4X,'COORD Z',6X,'MX',8X,
*'MZ')
      DO 7040 KY=1,NSY
      DO 7040 KX=1,NSX
      MXC(KX,KY)=MXC(KX,KY)+MXMC(NH,KX,KY)
      MYC(KX,KY)=MYC(KX,KY)+MYMC(NH,KX,KY)
      WRITE(ISA1,622)SXM(KY),SZM(KX),MXMC(NH,KX,KY),MYMC(NH,KX,KY)
622  FORMAT(2F10.3,2F10.5)
7040 CONTINUE
8502 CONTINUE
      IF(NCM)8010,8011,8010
8010 CONTINUE
C
C      MOMENTOS FLETORES NO INTERIOR DO ELEMENTO
C      DEVIDO AS CARGAS APLICADAS
C
      DO 8080 NH=1,IHA
      N=FLCAT(NNH(NH))
      XN=3.141593*N
      BB=XN/XL
      BT=BB*XL2A
      SH=(EXP(BT)-EXP(-BT))*0.5
      CH=(EXP(BT)+EXP(-BT))*0.5
      BTH=BT*CH/SH
      FBT1=1./(CH+1.)
      FBT2=SH*FBT1
      FBT3=0.5*BT*F2*FBT1
      FBT4=0.5*F2*FBT2
      FBT5=BT*FBT4

```

```
FBT6=FBT2-FBT3
FBT7=FBT3+XMUEP*FBT2
```

```
TESTE
```

```
IF(ITEST)515,517,515
```

```
515 WRITE(ISAI,507)N
```

```
WRITE(ISAI,516)BB,BT,SH,CH,BTH,FBT1,FBT2,FBT3,FBT4,FBT5,FBT6,FBT7
516 FORMAT(1H0,'BB=',F10.5,7X,'BT=',F10.5,7X,'SH=',F10.5,7X,'CH=',
*F10.5,7X,'BTH=',F10.5,7X,'FBT1=',F10.5,5X,'FBT2=',F10.5,5X,
*'FBT3=',F10.5,5X,'FBT4=',F10.5,7X,'FBT5=',F10.5,5X,'FBT6=',F10.5,
*5X,'FBT7=',F10.5)
```

```
517 CONTINUE
```

```
PERCURSO SEGUNDO AS SECOES LONGITUDINAIS
COORDENADAS Y/B (INT.) X/B (EXT.)
```

```
DO 7070 KY=1,NSY
```

```
NI=BT*SY(KY)
```

```
IF(NI)731,782,781
```

```
781 SHN=(EXP(NI)-EXP(-NI))*0.5
```

```
CHN=(EXP(NI)+EXP(-NI))*0.5
```

```
NTH=NI*CHN/SHN
```

```
RO=BT-NI
```

```
IF(RO)783,782,783
```

```
782 FMXS=0.
```

```
FMYS=0.
```

```
GO TO 655
```

```
783 SHR=(EXP(RO)-EXP(-RO))*0.5
```

```
CHR=(EXP(RO)+EXP(-RO))*0.5
```

```
RTH=RO*CHR/SHR
```

```
FBN5=(NI/BT)*FBT5
```

```
FBN2=0.5*NI*F2
```

```
TESTE
```

```
IF(ITEST)518,520,518
```

```
518 WRITE(ISAI,510)SY(KY)
```

```
510 FORMAT(1H0,'CONSTANTES PARA A SECAO Y/B=',F5.4)
```

```
WRITE(ISAI,519)NI,SHN,CHN,NTH,RO,SHR,CHR,RTH,FBN2,FBN5
```

```
519 FORMAT(1H0,'NI=',F10.5,7X,'SHN=',F10.5,6X,'CHN=',F10.5,6X,
*'NTH=',F10.5,7X,'RO=',F10.5,7X,'SHR=',F10.5,6X,'CHR=',F10.5,
*'RTH=',F10.5,7X,'FBN2=',F10.5,5X,'FBN5=',F10.5)
```

```
520 CONTINUE
```

```
DO 6060 IC=1,NCM
```

```
ITC=IT(IC)
```

```
GO TO (651,652,653),ITC
```

CARGA UNIFORMEMENTE DISTRIBUIDA

```
C
C
651 FP=4.*P(IC)/(XL*BB**3)
    FMXS=FP*(1.-(FBN5+1.)*CHN+(FBT6+FBN2)*SHN)
    FMYS=FP*(XMUEP+(FBN5-XMUEP)*CHN+(FBT7-FBN2)*SHN)
```

TESTE

```
C
C
    IF(ITEST)521,523,521
521 WRITE(ISAI,901)FMXS,FMYS
901 FORMAT(1H0,'FMXS=',E10.3,' FMYS=',E10.3)
523 CONTINUE
    GO TO 655
```

CARGA PARCIALMENTE DISTRIBUIDA

```
C
C
652 FMXS=0.
    FMYS=0.
    GO TO 655
```

CARGA CONCENTRADA

```
C
C
653 X1=D1(IC)
    Y1=D2(IC)
    C=D3(IC)
```

***** LIMITACOES PARA DETERMINACAO DOS MOMENTOS
NO PONTO DE APLICACAO DA CARGA

```
C
C
    IF((X1-C).LT.0) GO TO 666
    IF((Y1-C).LT.0) GO TO 666
    IF(X1.GT.XL) GO TO 668
    IF(Y1.GT.XL2A) GO TO 668
    NIC=BB*Y1
    Y=SY(KY)*XL2A
    IF(Y.GT.Y1) GO TO 656
    FSH=SHN
    FCH=NI*CHN
    NIC=BT-NIC
    GO TO 657
656 FSH=SHR
    FCH=RO*CHR
657 SHNC=(EXP(NIC)-EXP(-NIC))*0.5
    CHNC=(EXP(NIC)+EXP(-NIC))*0.5
    NTHC=NIC*CHNC/SHNC
    W=BTH-NTHC
    EP1=BB*X1
    SE=SIN(EP1)
```

```
FPC=P(IC)*(SHNC/SH)*(F2/XN)*SE
FMXS=+FPC*((W+F5)*FSH-FCH)
FMYS=-FPC*((W-F5)*FSH-FCH)
```

C
C
C
TESTE

```
IF(ITEST)524,526,524
524 WRITE(ISAI,525)X1,Y1,NIC,SHNC,CHNC,NTHC,W,EP1,SE,FPC,FMXS,FMYS
525 FORMAT(12F9.5)
526 CONTINUE
GO TO 655
666 WRITE(ISAI,6661)
6661 FORMAT(1H0,'MUDAR A DISCRETIZACAO DA ESTRUTURA')
GO TO 9999
668 ZA=XL2A-X1
ZB=Y1
WRITE(ISAI,6662)P(IC),ZA,ZB
6662 FORMAT(1H0,'CARGA APLICADA FORA DO ELEMENTO',
*//,' P=','F10.3,' ZA=','F10.3,' ZB=','F10.3)
GO TO 9999
```

C
C
C
PERCURSO SEGUNDO AS SECOES TRANSVERSAIS
COORDENADAS X/L (INT.) Z/L (EXT.)

C
C
C
655 CONTINUE
DO 5050 KX=1,NSX
X=SX(KX)*XL
ALF=BB*X
CA=COS(ALF)
SA=SIN(ALF)
IF(ITC.NE.3) GO TO 670
IF(C)363,670,363
363 RCX=X1-X
RCY=Y1-Y
RC=SQRT(RCX**2+RCY**2)
IF(RC.GT.C) GO TO 670
IF(IDA(IC).GT.1) GO TO 667
IF((XL/XL2A).LE.2.) GO TO 666
IF(X1.LE.XL2A) GO TO 666
IF(X1.GE.(XL-XL2A)) GO TO 666
FD1=2.*XL2A*SIN(3.141593*Y1/XL2A)
FD2=ALOG(FD1/(3.141593*C))
FMY=(P(IC)/(4.*3.141593))*(F1*FD2+1.)
FMX=FMY-F2*P(IC)/(4.*3.141593)

C
C
C
TESTE

IF(ITEST)527,529,527

```

527 WRITE(ISAI,6663)X,Y,FD1,FD2,FMX,FMY
6663 FORMAT(1H0,'X=',F10.3,' Y=',F10.3,' FD1=',E10.3,' FD2=',E10.3,
*' FMX=',E10.3,' FMY=',E10.3)
529 CONTINUE
    MX(KX,KY)=FMX
    MY(KX,KY)=FMY
667 FMXS=0.
    FMYS=0.
    IDA(IC)=IDA(IC)+1
670 MXMS(NH,KX,KY)=MXMS(NH,KX,KY)+FMXS*SA
    MYMS(NH,KX,KY)=MYMS(NH,KX,KY)+FMYS*SA
5050 CONTINUE
6060 CONTINUE
7070 CONTINUE
8080 CONTINUE
C
C   RESULTADOS FINAIS PARA OS MOMENTOS FLETORES NO INTERIOR
C   DO ELEMENTO DEVIDO AS CARGAS APLICADAS
C
    DO 7050 NH=1,IHA
      WRITE(ISAI,631)NNH(NH)
631  FORMAT(1H1,'ESFORCOS DE PLACA DEVIDO A CARGAS NO ELEMENTO',
*//,' PARA O HARMONICO',I5,//,' COORD Z',4X,'COORD X',6X,'MX',8X,'MZ',
*)
      DO 7050 KX=1,NSX
        DO 7050 KY=1,NSY
          MXS(KX,KY)=MXS(KX,KY)+MXMS(NH,KX,KY)
          MYS(KX,KY)=MYS(KX,KY)+MYMS(NH,KX,KY)
          WRITE(ISAI,632)SZM(KX),SXM(KY),MXMS(NH,KX,KY),MYMS(NH,KX,KY)
632  FORMAT(2F10.3,2F10.5)
7050 CONTINUE
8011 CONTINUE
C
C   COMBINACAO DOS RESULTADOS FINAIS
C   CONDICAO DE CONTINUIDADE + CARGAS APLICADAS
C
    DO 7060 KX=1,NSX
      DO 7060 KY=1,NSY
        MX(KX,KY)=MX(KX,KY)+MXC(KX,KY)+MXS(KX,KY)
        MY(KX,KY)=MY(KX,KY)+MYC(KX,KY)+MYS(KX,KY)
7060 CONTINUE
C
C   RESULTADOS SEGUNDO AS SECOES LONGITUDINAIS
C
    WRITE(ISAI,315)XNOME
315  FORMAT(1H1,18A4,///,' ESFORCOS FINAIS DE PLACA')
    WRITE(ISAI,692)
692  FORMAT(1H0,'SEGUNDO AS SECOES LONGITUDINAIS',///,' COORD X',

```

*4X,'COORD Z',6X,'MX',8X,'MZ')

C
C
C
RESULTADOS SEGUNDO AS SECOES TRANSVERSAIS

DO 7061 KY=1,NSY

DO 7061 KX=1,NSX

7061 WRITE(ISAI,632)SXM(KY),SZM(KX),MX(KX,KY),MY(KX,KY)

WRITE(ISAI,315)XNOME

WRITE(ISAI,693)

693 FORMAT(1H0,'SEGUNDO AS SECOES TRANSVERSAIS',//,'COORD Z',

*4X,'COORD X',6X,'MX',8X,'MZ')

DO 7062 KX=1,NSX

DO 7062 KY=1,NSY

7062 WRITE(ISAI,632)SZM(KX),SXM(KY),MX(KX,KY),MY(KX,KY)

GO TO 9999

7506 CONTINUE

STOP

END